

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE
PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA
Katedra fyzické geografie a geoekologie



**VZTAHY MEZI SLUNEČNÍM SVITEM, GLOBÁLNÍM
ZÁŘENÍM, OBLAČNOSTÍ A DÉLKOU DNE,
HLAVNĚ V HRADCI KRÁLOVÉ**

*Relations among sunshine, global radiation, cloudiness and day
longitude at Hradec Králové
(diplomová práce)*

Jana Schováňková

Vedoucí práce: RNDr. Ivan Sládek, CSc.

PRAHA 2010

Na tomto místě bych především chtěla poděkovat svému vedoucímu diplomové práce RNDr. Ivanu Sládkovi, CSc za podnětné rady a připomínky a jeho čas, který mi věnoval. Dále bych chtěla poděkovat pracovníkům Solární a ozonové observatoře ČHMÚ v Hradci Králové a ostatním pobočkám ČHMÚ za poskytnutá data. V neposlední řadě děkuji rodičům za podporu při mém studiu.

Prohlašuji, že jsem zadanou diplomovou práci vypracovala sama a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje.

Praha 25. 4. 2010

podpis

Abstract

The work deals relations among sunshine, global radiation, cloudiness and day longitude. The main purpose of this work is to utilize indirect calculation methods for determination of some basic characteristics of global solar radiation from data of the bright sunshine duration, cloudiness and day longitude. The work is based on such methods, which were used by Karel Vaníček and the others from the Solar and ozone observatory in Hradec Králové. Their aim was to apply them in the utilization of solar renewable energy sources. The work solves this topic by other statistical methods and approaches. It was used data from the Solar and ozone observatory CHMI (The Czech Hydrometeorological Institute) in Hradec Králové, which has dealt with problems of the solar radiation for a long time. It was applied a period of complete daily sums of the solar radiation, cloudiness and the sunshine duration from the year 1999 to 2008. The second part of this work is concerned with a definition of the winter period of the bright sunshine duration in the Giant Mountains and compares it with Prague. It was used data from two meteorological stations. The first one is located in the Giant mountains - the Labská Bouda station and the second station in Prague - the Praha - Libuš station to make a comparison between higher altitudes (mountain regime) and lower altitudes. Daily sums of the sunshine duration were mainly from last 20 - 30 years, but not always complete. It was used the method of cumulative series.

Key words

global solar radiation, sunshine duration, cloudiness, day longitude, solar renewable energy sources, Solar and ozone observatory in Hradec Králové, Labská bouda - Krkonoše, Praha - Libuš, method of cumulative series

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá problematikou globálního slunečního záření, slunečního svitu a oblačnosti. Hodnotí tyto prvky obecně, zabývá se jejich měřením a jejich vzájemnými vztahy. Nejdůležitější část práce řeší možnosti zhodnocení nepřímého odvození klimatických charakteristik globálního záření z údajů o slunečním svitu, oblačnosti a času. Práce vychází z odborné literatury, zejména z prací Karla Vaníčka a jeho spolupracovníků ze Solární a ozonové observatoře ČHMÚ v Hradci Králové, kteří se v nich zabývali zejména problematikou využití sluneční energie. V experimentální části práce jsou zpracovávány denní hodnoty uvedených veličin za desetileté období (1999 - 2008) ze Solární a ozonové observatoře ČHMÚ v Hradci Králové s využitím metod matematické statistiky. Druhá část práce se zaměřuje na zimní období, kdy je v nejvyšších polohách Krkonoš více slunečního svitu než v nížinách. Porovnávají se zde denní sumy délky slunečního svitu za období 1971 - 2009 z horské stanice Labská bouda a z nížinné stanice Praha - Libuš s využitím metody součtových řad.

Klíčová slova

globální sluneční záření, délka slunečního svitu, oblačnost, Solární a ozonová observatoř ČHMÚ v Hradci Králové, využití sluneční energie, Labská bouda v Krkonoších, Praha - Libuš, metoda součtových řad

Obsah

Seznam obrázků, grafů a tabulek	7
1 Úvod.....	10
2 Radiační síť ČR.....	12
3 Hradec Králové	14
3.1 Klimatická charakteristika Hradce Králové	14
3.2 Solární a ozonová observatoř ČHMÚ Hradec Králové.....	15
4 Sluneční záření	17
4.1 Charakteristika slunečního záření	17
4.2 Způsob měření slunečního záření.....	17
4.2.1 Pyranometr	17
4.2.2 Pyrliometr.....	18
5 Sluneční svit	20
5.1 Definice slunečního svitu	20
5.2 Způsob měření slunečního svitu.....	21
5.2.1 Mechanické slunoměry	21
5.2.2 Elektronické slunoměry	23
5.2.3 Kompatibilita slunoměrů	25
5.2.4 Chyby měření.....	26
6 Oblačnost	27
6.1 Klasifikace oblaků.....	27
6.1.1 Morfologická klasifikace oblaků	27
6.1.2 Genetická klasifikace oblaků	27
6.1.3 Klasifikace oblaků podle výšky	29
6.1.4 Klasifikace oblaků podle složení	30
6.2 Optické jevy	30
6.3 Způsob měření.....	31
6.3.1 Určení množství oblačnosti.....	31
6.3.2 Určení hustoty oblačnosti	32
6.3.3 Tah oblaků	32
7 Režim globálního slunečního záření, slunečního svitu a oblačnosti v ČR	34
7.1 Denní chod	34

7.2	Roční chod	34
8	Povětrnostní situace	36
8.1	Roční chod slunečního svitu, globálního záření a oblačnosti v závislosti na povětrnostních situacích.....	36
9	Použité materiály a metody	38
9.1	Použité datové zdroje	38
9.2	Korelační vztah	39
9.3	Odvození globálního slunečního záření	39
9.3.1	Původní Angströmovův vztah.....	40
9.3.2	Angström - Prescottův vztah.....	42
9.3.3	Klabzubův vztah	45
9.3.4	Blackův vztah.....	46
9.3.5	Chyby odvozených hodnot globálního záření.....	46
9.4	Srovnání horských a nížinných lokalit	46
10	Výsledky	48
10.1	Základní charakteristiky globálního slunečního záření, délky slunečního svitu a oblačnosti v Hradci Králové	48
10.2	Korelační vztah	51
10.3	Vztah povětrnostních situací s globálním slunečním zářením, délkou slunečního svitu a oblačností	53
10.4	Odvození globálního záření	54
10.4.1	Původní Angströmovův vztah.....	54
10.4.2	Angström - Prescottův vztah.....	56
10.4.3	Blackův vztah.....	57
10.4.4	Porovnání použitých metod	58
10.5	Srovnání horských a nížinných lokalit	60
10.5.1	Klimatická charakteristika stanice Labská bouda a Praha - Libuš	60
10.5.2	Období s převahou slunečního svitu v Krkonoších	61
10.5.3	Odvození globálního záření na Labské boudě a v Praze - Libuši.....	65
11	Diskuze	67
12	Závěr.....	70
	Seznam použitých zdrojů a literatury	71
	Seznam mapových a datových podkladů	74
	Seznam příloh	75

Seznam obrázků, grafů a tabulek

Seznam obrázků

Obr. č. 1: Stanice radiační sítě ČHMÚ, leden 2008	13
Obr. č. 2: Observatoř Hradec Králové.....	16
Obr. č. 3: Pyranometr CM11, SG002	18
Obr. č. 4: Absolutní pyrhelioskop HF 30497, CH1	19
Obr. č. 5: Campbell - Stokesův slunoměr	21
Obr. č. 6: Registrační pásy slunoměru	22
Obr. č. 7: Elektronické slunoměry DSU12, SD4, SD5, SD6	23
Obr. č. 8: Inverze v Krkonoších	64

Seznam grafů

Graf č. 1: Průměrné (polynomická aproximace) denní hodnoty globálního záření v HK podle jednotlivých stupňů oblačnosti za období 1999 - 2008	48
Graf č. 2: Průměrné (polynomická aproximace) denní hodnoty globálního záření v HK za období 1999 - 2008.....	49
Graf č. 3: Izoplety denních sum globálního záření v HK za období 1999 - 2008.....	50
Graf č. 4: Izoplety denních sum délky slunečního svitu v HK za období 1999 - 2008.....	50
Graf č. 5: Roční chod průměrné oblačnosti, relativního slunečního svitu a jejich součtu v HK za období 1999 - 2008	52
Graf č. 6: Průměrné denní hodnoty globálního záření a sluneč.svitu v průběhu roku v HK za období 1999 - 2008.....	53
Graf č. 7: Globální záření jako funkce relativního slunečního svitu v HK za období 1999 - 2008.....	54
Graf č. 8: Průběh odvozených a skutečně naměřených průměrných denních sum globálního záření v roce v HK za období 1999 - 2008.....	55
Graf č. 9: Průběh odvozených a skutečně naměřených průměrných měsíčních sum globálního záření v roce v HK za období 1999 - 2008.....	56

Graf č. 10: Průběh odvozených a skutečně naměřených průměrných denních sum globálního záření v roce v HK za období 1999 - 2008.....	57
Graf č. 11: Průběh odvozených a skutečně naměřených průměrných denních sum globálního záření v roce v HK za období 1999 - 2008.....	58
Graf č. 12: Průběh odvozených a skutečně naměřených průměrných denních sum globálního záření v roce v HK za období 1999 - 2008.....	59
Graf č. 13: Průběh relativních odchylek odvozených od naměřených průměrných denních sum globálního záření v roce v HK za období 1999 - 2008.....	59
Graf č. 14: Příklad charakteristiky období s převahou slunečního svitu v Krkonoších proti Praze v roce 1981 - 1982	61
Graf č. 15: Charakteristika období s převahou slunečního svitu v Krkonoších proti Praze za vybrané roky	62
Graf č. 16: Průměrný měsíční počet dní zamračených a jasných na Sněžce za období 1951 - 1975.....	63
Graf č. 17: Průměrné denní úhrny slunečního svitu v Praze - Libuši a na Labské boudě za období 1979 - 1980, 1981 - 1989; 1991 - 1995; 2004 - 2009	64
Graf č. 18: Průběh odvozených průměrných denních sum globálního záření v roce v Praze - Libuši a na Labské boudě za období 1979, 1981 - 1988; 1991 - 1994; 2005 - 2009...	66

Seznam tabulek

Tab. č. 1: Rajonizace pole globálního záření na území ČR.....	12
Tab. č. 2: Charakteristika klimatické jednotky T2	14
Tab. č. 3: Základní charakteristiky stanic: Hradec Králové, Labská bouda a Praha - Libuš...38	
Tab. č. 4: Hodnoty s_{om} v hodinách pro zeměpis. šířku 48°, 49°, 50°, 51° s. š. při sluneční konstantě 1367 W.m ⁻²	43
Tab. č. 5: Hodnoty G_{om} v MJ.m ⁻² pro zeměpis. šířku 48°, 49°, 50°, 51° s. š. při sluneční konstantě 1367 W.m ⁻²	43
Tab. č. 6: Hodnoty koeficientů a, b v závislosti na nadmořské výšce pro území ČR	44
Tab. č. 7: Průměrné denní hodnoty globálního záření, slunečního svitu, relativního slunečního svitu, oblačnosti, průměrný počet jasných a zatažených dnů v HK za období 1999 - 2008.....	48

Tab. č. 8: Korelační koeficienty mezi denními sumami globálního záření a oblačností v HK za období 1999 - 2008	51
Tab. č. 9: Korelační koeficienty mezi denními sumami slunečního svitu a oblačností v HK za období 1999 - 2008.....	51
Tab. č. 10: Roční chod průměrné oblačnosti, relativního slunečního svitu a jejich součtu v HK za období 1999 - 2008	52
Tab. č. 11: Korelační koeficienty mezi denními sumami globálního záření a slunečního svitu v HK za období 1999 - 2008	52
Tab. č. 12: Průměrné denní úhrny slunečního svitu v hodinách, globálního záření v MJ.m ⁻² , průměrné oblačnosti v desetínách v závislosti na jednotlivých povětrnostních situacích v HK za období 1999 - 2008	53
Tab. č. 13: Roční chod konstanty α' v HK za období 1999 - 2008	55
Tab. č. 14: Roční chod odvozených a skutečně naměřených průměrných denních sum globálního záření v roce v MJ.m ⁻² v HK za období 1999 - 2008	55
Tab. č. 15: Roční chod odvozených a skutečně naměřených průměrných měsíčních sum globálního záření v roce v MJ.m ⁻² , průměrných měsíčních sum slunečního svitu v hodinách v HK za období 1999 - 2008	56
Tab. č. 16: Roční chod odvozených a skutečně naměřených průměrných denních sum globálního záření v roce v MJ.m ⁻² v HK za období 1999 - 2008.....	56
Tab. č. 17: Roční chod odvozených a skutečně naměřených průměrných denních sum globálního záření v roce v MJ.m ⁻² , průměrná denní oblačnost v desetínách a denní sumy G_{od} v MJ.m ⁻² v HK za období 1999 - 2008	58
Tab. č. 18: Průběh relativních odchylek odvozených průměrných denních sum globálního záření za jednotlivé měsíce vůči naměřeným v HK za období 1999 - 2008	60
Tab. č. 19: Charakteristika klimatických jednotek CH4 a T2	60
Tab. č. 20: Charakteristika období s převahou slunečního svitu v Krkonoších proti Praze za vybrané roky	62
Tab. č. 21: Roční chod odvozených a skutečně naměřených průměrných měsíčních a denních sum globálního záření v roce v MJ.m ⁻² a průměrných měsíčních sum slunečního svitu v hodinách na Labské boudě za období 1979, 1981 - 1988; 1991 - 1994; 2005 - 2009	65
Tab. č. 22: Roční chod odvozených a skutečně naměřených průměrných měsíčních a denních sum globálního záření v roce v MJ.m ⁻² a průměrných měsíčních sum slunečního svitu v hodinách v Praze - Libuši za období 1979, 1981 - 1988; 1991 - 1994; 2005 - 2009	65

1 ÚVOD

„Teplé sluneční paprsky působí příjemně na každého. Mobilizují obranyschopnost organismu, aktivují buněčnou výměnu látkovou. Působením slunečních paprsků stoupá obsah kyslíku v krvi, srdce bije rychleji a silněji, dýchání se prohlubuje. Lépe se prokrvuje i sliznice žaludku, nervosvalová dráždivost se zvyšuje. Slunce pomáhá udržovat hormonální rovnováhu, probouzí chuť do života, zlepšuje náladu, v neposlední řadě vzbuzuje i sexuální touhu. Navíc napomáhá syntéze D vitamínu v kůži, který je důležitý pro tvorbu a údržbu kostí i pro psychiku. Sluneční světlo ničí bakterie, urychluje hojení ran, zlepšuje některá kožní onemocnění. Intenzita denního světla má značný vliv na výkonnost, schopnost soustředění, únavnost, iniciativu a pracovní tempo. Známy je euforický účinek jasného slunečního dne i depresivní vliv působení cyklonálního počasí se zataženou oblohou a omezenou viditelností.“

Podle Matouška (1987)

Sluneční záření je nejen rozhodujícím činitelem formující klimatické podmínky, či příznivě působícím faktorem na člověka a ostatní organismy, ale také významně ovlivňuje technologie spojené s lidskou činností. Právě v souvislosti s touto skutečností stále více narůstají požadavky na podrobné informace o hodnotách slunečního záření i na území České republiky. Souvisí to především s rostoucím zájmem o jeho využívání jako obnovitelného energetického zdroje. Změny v poli slunečního záření mohou být také spolehlivým indikátorem vlivu lidské činnosti na životní prostředí.

Globální záření (celkový příkon sluneční energie dopadající na zemský povrch) se měří pouze na vybraných stanicích v České republice. Vzhledem k využívání sluneční energie bylo by užitečné tuto síť rozšířit. Klimatologický prvek doba trvání slunečního svitu vyjadřovaný v hodinách není veličina popisující energii dopadajícího slunečního záření, ale umožňuje charakterizovat pole sluneční radiace nepřímo. Údaje o slunečním svitu se tedy dají využít především jako vstupní data k nepřímým výpočtům některých radiačních charakteristik (Vaníček, 1985). Přispívá k tomu i skutečnost, že měření slunečního svitu je technicky a finančně méně náročné, než měření globálního záření a je také hlavní součástí měření většiny stanic v České republice. V současné době se měření slunečního svitu provádí na více než 180 stanicích v ČR (Pokorný, Vaníček, 2007).

V diplomové práci nejdříve obecně zhodnotím sluneční záření, sluneční svit a oblačnost, vysvětlím způsob jejich měření, charakteristiku v České republice, vztah k povětrnostním situacím a jejich vztahy pomocí statistické metody korelace. Dále se pokusím o zhodnocení možnosti nepřímého odvození klimatických charakteristik globálního záření z údajů o slunečním svitu, oblačnosti a délce dne. Budu vycházet z odborné literatury, zejména z prací Karla Vaníčka a jeho spolupracovníků ze Solární a ozonové observatoře ČHMÚ v Hradci Králové, kteří se v nich zabývali zejména problematikou využití sluneční energie. Využiji i jiné postupy nepřímého odvozování radiačních charakteristik klimatu než použili Vaníček a kol. V experimentální části práce budou zpracovány denní hodnoty uvedených veličin za desetileté období (1999 - 2008) ze Solární a ozonové observatoře ČHMÚ v Hradci Králové s využitím metod matematické statistiky.

V druhé části práce se budu zabývat zimním obdobím, kdy je v nejvyšších polohách Krkonoš více slunečního svitu než v nížinách a navážu tak na svou bakalářskou práci.

2 RADIAČNÍ SÍŤ ČR

V České republice se údaje o globálním záření začaly získávat pomocí přímých měření od první poloviny 50. let. Měření byla zahájena na omezeném počtu stanic tehdejšího Hydrometeorologického ústavu, který je postupně zařadil do svého stálého monitorovacího programu, z technických důvodů však byla postupně zastavena, pouze v Hradci Králové pokračovala měření nepřetržitě až do dnešní doby.

Růst zájmu o využívání sluneční energie počátkem 80. let přinesl i potřebu podrobnějších informací o poli slunečního záření na území celé republiky. K jejich poskytování však tehdy nebyla k dispozici dostatečně dlouhá datová řada. Vzhledem k tomu, že se jednalo o perspektivní téma, rozhodli se pracovníci ČHMÚ řešit otázku radiačních informací dlouhodobě. Byla proto vybudována radiační síť ČHMÚ. Na 11 stanicích sítě bylo od 1. 1. 1984 zahájeno nepřetržité měření globálního záření (Vaníček, 1994).

Tab. č. 1: Rajonizace pole globálního záření na území ČR

Oblast	Charakteristika	Stanice
I	Nížiny a vysočiny Čech a Moravy s nadmořskou výškou do 600 m. Rozhodující vliv frontální a inverzní oblačnosti, nízké až průměrné znečištění atmosféry.	Hradec Králové Kocelovice Košetice Luká Ostrava - Poruba Kuchařovice
II	Velké průmyslové a populační aglomerace v oblasti I s nadprůměrným znečištěním atmosféry. Zvýšený vliv pevných aerosolů v atmosféře.	Praha - Karlov Tušimice
III	Lokality v oblasti II s extrémně vysokým znečištěním atmosféry	Ústí nad Labem
IV	Vysočiny ČR s nadmořskou výškou 600 - 800 m.	Svratouch
V	Vrcholové části pohraničních hor s výškou nad 1000 m. Orograficky zvýšený vliv oblačnosti v letním období, velmi nízké znečištění atmosféry pevným aerosolem.	Churáňov

Zdroj: Vaníček (1994)

Radiační síť ČHMÚ byla projektována a vybudována tak, aby pokryla většinu klimaticky typických oblastí ČR a zároveň se podílela na monitoringu životního prostředí (Vaníček, 1994). Síť se postupně rozšířila až do dnešních 16 stanic. Jejich umístění je

uvedeno na obr. č. 1. Síť je řízena z SOO - HK (Solární a ozonová observatoř ČHMÚ v Hradci Králové), která plní úlohu Národního radiálního centra ČR.

Obr. č. 1: Stanice radiální sítě ČHMÚ, leden 2008



Zdroj: ČHMÚ (2009)

3 HRADEC KRÁLOVÉ

V diplomové práci jsem se snažila zhodnotit vzájemné vztahy globálního záření, slunečního svitu a oblačnosti pro celé území ČR. Experimentální část mé práce však aplikuje především data ze SOO - HK. Z tohoto důvodu jsem na tomto místě uvedla stručnou charakteristiku klimatických podmínek Hradce Králové.



3.1 Klimatická charakteristika Hradce Králové

Tab. č. 2: Charakteristika klimatické jednotky T2

Parametr	T2
Počet letních dní	50 - 60
Počet dní s průměr. teplotou 10°C a více	160 - 170
Počet dní s mrazem	100 - 110
Počet ledových dní	30 - 40
Průměrná lednová teplota [°C]	-2 - (-3)
Průměrná červencová teplota [°C]	18 - 19
Průměrná dubnová teplota [°C]	8 - 9
Průměrná říjnová teplota [°C]	7 - 9
Průměr. počet dní se srážkami 1 mm a více	90 - 100
Suma srážek ve vegetačním období [mm]	350 - 400
Suma srážek v zimním období [mm]	200 - 300
Počet dní se sněhovou pokrývkou	40 - 50
Počet zamračených dní	120 - 140
Počet jasných dní	40 - 50

Zdroj: Quitt (1971)

Klima Hradce Králové odpovídá typickému středoevropskému klimatu, tj. přechodnému typu mezi oceánským a kontinentálním klimatem mírných šířek. Hradec Králové leží v příhodné klimatické oblasti, která je podle Quitta (1971) charakterizována jako teplá (T2), mírně suchá s mírnou zimou. Území je chladnější směrem k jihozápadu, srážky stoupají směrem k východu a také klesají průměrné teploty. Území je tedy převážně teplé, s dobrou dotací srážkami, zimy zde převažují bez sněhu. Místy se mohou vyskytnout omezené teplotní inverze. Průměrná teplota vzduchu v červenci dosahuje +19°C, v lednu -2°C. Průměrná roční teplota vzduchu je +8,5°C. Absolutní teplotní maximum za období 1961 - 2001 bylo naměřeno dne 30. 7. 1994 (+37,8 °C) a minimum dne 9. 1. 1985 (-24,7 °C). Období, kdy se průměrná denní teplota vzduchu pohybuje pod bodem mrazu, zde začíná průměrně 11. prosince a končí 21. února. Období bez mrazů trvá průměrně 290 dnů v roce a

poslední mrazové dny se objevují do konce dubna. Průměrné roční úhrny srážek dosahují 550 - 600 mm. Průměrné roční množství napadlého sněhu je 63 cm a průměrný počet dnů v roce se souvislou sněhovou pokrývkou je 50 dnů. První sníh se objevuje kolem 21. listopadu a poslední v druhé polovině března. Průměrná doba trvání slunečního svitu je 1621,8 hod za rok, počet jasných dnů v roce je 45, zamračených 135, s mlhou 35, s bouřkou 28 a bez sluneční aktivity 84.

3.2 Solární a ozonová observatoř ČHMÚ v Hradci Králové

Pracoviště Českého hydrometeorologického ústavu - Solární a ozonová observatoř sídlí v objektu Hvězdárny a planetária Hradce Králové. Nachází se na jižním okraji metropole východních Čech - Hradce Králové na hřebenu mezi Zámečkem a Novým Hradcem Králové. Výstavba hvězdárny probíhala v letech 1947 až 1961. Součástí areálu je i část Ústavu fyziky atmosféry Akademie věd ČR. Poloha observatoře je 15°50'21" východní délky, 50°10'38" severní šířky a nachází se 287 m n. m. (Brož, 2007).

Z hlediska slunečního záření provádí toto pracoviště kalibrace radiometrů na měření slunečního záření. Všechny přístroje jsou pravidelně kalibrovány pracovníky Solární a ozonové observatoře ČHMÚ vůči Národnímu radiačnímu standardu ČR - absolutní dutinový radiometr (pyrheliometr) HF - 30497 (Pokorný, Vaníček, 2007). Naměřené údaje jsou vztaženy k pyrheliometrické stupnici „World Radiation Reference“ (WRR), což zaručuje jejich mezinárodní porovnatelnost. Dále observatoř vyhodnocuje měření z radiační sítě, provádí autorizaci dat a měří radiaci v podstatně širším rozsahu. Data jsou po zpracování a konečné kontrole v měsíčních cyklech ukládána do radiační databáze ČHMÚ. Základní jednotkou archivace v databázi je den a rok, dále jsou zde identifikační údaje, denní posloupnosti hodinových sum globálního záření integrované podle pravého slunečního času, jejich denní sumy a denní úhrn trvání slunečního svitu. Hradec Králové má k dispozici nepřetržitou řadu měření globálního záření již od roku 1953 a difuzního záření od roku 1964 (Vaníček, 1994).

Obr. č. 2: Observatoř Hradec Králové



Foto: Schováňková (2010)

4 SLUNEČNÍ ZÁŘENÍ

4.1 Charakteristika slunečního záření

Termojaderné procesy probíhající na Slunci jsou zdrojem obrovského množství energie, která je vyzařována v podobě elektromagnetického záření do meziplanetárního prostoru (Vaníček, 1994). Intenzita tohoto energetického toku na vnější hranici zemské atmosféry, vztažená na jednotku plochy kolmé k paprskům při střední vzdálenosti Země od Slunce je 1368 W.m^{-2} a nazývá se sluneční konstanta (Atlas podnebí Česka, 2007).

Při průchodu zemskou atmosférou je sluneční záření pohlcováno, odráženo a rozptýlováno atmosférickými plyny, aerosoly a oblačností. Na zemský povrch proto dopadá jako přímé sluneční záření přicházejícího z nezastíněného slunečního kotouče a rozptýlené (difuzní) záření vznikající rozptylem v zemské atmosféře. Součet těchto dvou radiačních toků, vztažených na jednotku horizontální plochy, se nazývá globální záření, které tak představuje celkový příkon sluneční energie na zemský povrch. Jeho intenzita roste s výškou Slunce nad obzorem a s poklesem zakalení atmosféry, dále závisí i na oblačnosti (Meteorologický slovník výkladový a terminologický, 1993). Více než 99% globálního záření je přenášeno ve vlnovém rozsahu 290 - 4000 nm (Vaníček, 1994). Jeho hodnoty se udávají v souladu s mezinárodními normami v energetických jednotkách, nejčastěji ve W.m^{-2} pro okamžitou intenzitu toku nebo v J.m^{-2} pro sumy energie za zvolené období (Atlas podnebí Česka, 2007).

4.2 Způsob měření slunečního záření

Sluneční záření se měří radiometry, které se dělí na pyrhelimetry pro měření přímého záření a na pyranometry používané k měření globálního záření, rozptýleného záření nebo záření odraženého zemským povrchem. Současné typy těchto přístrojů dosahují přesnosti měření 0,5 - 1 % (Atlas podnebí Česka, 2007).

4.2.1 Pyranometr

Dříve se k měření globálního záření využívaly různé typy pyranometrů, které byly založeny jednak na bázi rtuťových teploměrů (například Kalitinův pyranometr) nebo na bázi výparu alkoholu ze skleněné koule, podle čehož se určovala intenzita slunečního záření. (například Bellaniho pyranometr). Dalším typem byl tzv. Robitzschův pyranograf, který fungoval na základě nestejného ohřívání černých a bílých bimetalových proužků.

Zaznamenání intenzity záření bylo mechanické prostřednictvím ohybu černého proužku a přenesením tohoto pohybu na registrační pero (Slabá, 1972).

Obr. č. 3: Pyranometr CM11, SG002



Zdroj: Kipp & Zonen (2010)

Na podobné bázi jsou konstruovány i současné pyranometry, výsledný výstup intenzity globálního záření je však elektronicky zaznamenán. Čidlo se skládá z černých a bílých trojúhelníkových výsečí, které jsou střídavě poskládány do kruhu (Kipp & Zonen, 2010). Celý kruh je pak schován pod skleněnou polokoulí. Sluneční záření procházející sklem dopadá na černé výseče, které se ohřívají. Vlivem teplotního rozdílu mezi černým a bílým povrchem vzniká na připevněných termočláncích elektrické napětí, které je po zesílení přímo závislé na intenzitě slunečního záření. Sluneční záření je přeměněno na teplo a je tak zaručena nezávislost odezvy na vlnové délce slunečního záření. Další typ pyranometru obsahuje pouze černé čidlo, které absorbuje sluneční záření. To je převáděno opět do podoby elektrického napětí. Čidlo je kryto dvěma skleněnými poklopy, mezi kterými je vakuum, dovnitř proniká pouze krátkovlnné záření, dlouhovlnné je odraženo zpět. Dále pak existují diodové pyranometry, které jsou založeny na fotoelektrickém principu (Kipp & Zonen, 2010).

4.2.2 Pyrheliometr

Přímé sluneční záření se měří pyrheliometrem, což je fotocitlivý detektor (termočlánek) s dlouhým stínícím tubusem. Pyrheliometr musí být připevněn k hodinovému stroji, který sleduje pohyb Slunce na obloze. Pyrheliometr patří mezi absolutní měřicí přístroje a jeho výstupem je přímo intenzita záření ve W.m^{-2} (Pokorný, Vaníček, 2007). Před tubus lze namontovat otočný kotouč s barevnými filtry, což umožňuje měřit přímé sluneční záření na určitých vlnových délkách.

Obr. č. 4: Absolutní pyrheliometr HF 30497, CH1

Zdroj: Atlas podnebí Česka (2007), Pokorný, Vaníček (2007)

5 SLUNEČNÍ SVIT

5.1 Definice slunečního svitu

„Trvání slunečního svitu nebo zkráceně sluneční svit je časový interval, během něhož přímé sluneční záření dosahovalo zemského povrchu. Hodnoty slunečního svitu se udávají jako sumy v jednotkách času za zvolené období, nejčastěji v hodinách, popřípadě v desetinách hodin za den, měsíc nebo rok.“ (Meteorologický slovník výkladový a terminologický, 1993)

Trvání slunečního svitu závisí na délce dne, která je dána zeměpisnou šířkou a roční dobou, na výskytu oblačnosti nebo mlh, na překážkách v okolí místa pozorování. Zjednodušeně je sluneční svit časový interval mezi východem a západem Slunce, během kterého není sluneční kotouč zakryt oblačností nebo jinými překážkami. „Fyzikálně je definován jako doba, kdy je intenzita slunečního záření dopadající na plochu kolmou k paprskům vyšší nebo rovna $120 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.“ (Atlas podnebí Česka, 2007)

Kromě trvání slunečního svitu zjišťovaného slunoměrem se dále určuje astronomicky možné, efektivně možné a relativní trvání slunečního svitu (Kobzová, 1998):

Astronomicky možné trvání slunečního svitu znamená časový interval od východu do západu Slunce vztaženo k ideálnímu obzoru, tzn. bez překážek, které by sluneční svit zkracovaly. Je závislý pouze na zeměpisné šířce místa pozorování a roční době. Udává tedy maximální možný sluneční svit v určitém místě.

Efektivně možné trvání slunečního svitu udává opět časový interval od východu do západu Slunce, vztahující se k místu pozorování se skutečným obzorem. Obzor bývá zčásti zastíněn překážkami, např. budovami, stromy, terénními nerovnostmi apod. Efektivně možný sluneční svit se rovná astronomicky možnému trvání slunečního svitu zmenšenému o dobu, po kterou je slunoměr zastíněn překážkami nad ideálním obzorem. V efektivně možném slunečním svitu se tedy do značné míry projevuje umístění meteorologické stanice v terénu. Je rozdílný na stanicích rovinných, svahových, údolních, vrcholových atd.

Relativní trvání slunečního svitu udává poměr mezi skutečným a efektivně možným trváním slunečního svitu za určité období, nejčastěji za den, měsíc nebo rok. Tato

charakteristika umožňuje vzájemnou srovnatelnost zaznamenávaného slunečního svitu na různých místech s ohledem na terénní, popř. i jiné překážky zastiňující slunoměry.

Relativní trvání slunečního svitu, vyjádřené v procentech, se přibližně doplňuje na 100% s oblačností, vyjádřenou rovněž v %. Trvání slunečního svitu je tedy do jisté míry doplňkem oblačnosti a slunoměry jsou jedinými objektivními přístroji, které oblačnost nepřímo měří (Kobzová, 1998).

5.2 Způsob měření slunečního svitu

5.2.1 Mechanické slunoměry

Campbellův - Stokesův slunoměr

Sluneční svit se v minulosti a v určité míře i v současnosti měří pomocí Campbell - Stokesova slunoměru. Využívá tepelného účinku slunečních paprsků soustředěných skleněnou koulí o průměru 96 mm, která funguje jako spojená čočka, v jejímž ohnisku je umístěn papírový registrační pásek, dělený po hodinách a půlhodinách a propalovaný slunečními paprsky, není-li Slunce zastíněno oblaky. Zdánlivým denním pohybem Slunce od východu na západ vzniká na registračním pásku propálená čára (Slabá, 1972).

Obr. č. 5: Campbell - Stokesův slunoměr

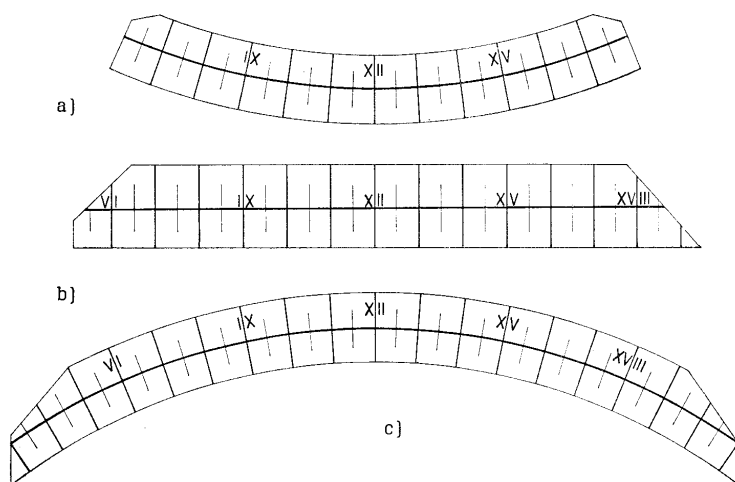


Zdroj: Pokorný, Vaníček (2007)

Jsou používány 3 druhy registračních pásků s ohledem na měnící se výšku a délku dráhy Slunce nad obzorem během roku: a) zimní období (od 12. října do 28. února),

b) přechodná období (od 1. března do 11. dubna a od 1. září do 11. října), c) pro letní období (od 12. dubna do 31. srpna)

Obr. č. 6: Registrační pásy slunoměru



Zdroj: Slabá (1972)

Trvání slunečního svitu se vyhodnocuje pomocí předtištěného časového rozdělení pásku v pravém slunečním čase. Z tohoto záznamu, který se nazývá heliograf, lze vyhodnotit denní průběh a celodenní sumu slunečního svitu s přesností na desetiny hodiny. Přesnost měření, zvláště při nízké intenzitě slunečního záření, však závisí na citlivosti slunoměru, na kvalitě registračních pásků a na způsobu jejich vyhodnocování. Z charakteru záznamu lze hodnotit i intenzitu slunečního záření (Slabá, 1972).

Pro instalaci přístroje je nutné vybrat místo, které není zastíněno žádným předmětem, terénní nerovností nebo porostem v průběhu celého dne a celého roku. Přímo na jih mohou být překážky do výšky asi 16° , protože v poledne je v našich šířkách Slunce i o zimním slunovratu výše. Přístroj musí být pevně umístěn v horizontální poloze s přesnou orientací na jih. Podstavec přístroje musí být nehybný a odolný proti atmosférickým vlivům. Výška podstavce má být přibližně 1,5 m nad zemí, na stanicích s vysokou sněhovou pokrývkou i větší.

Kromě Campbell - Stokesova slunoměru jsou používány i jiné typy slunoměrů jako například Marvinův slunoměr, Jordánův slunoměr a další (Kobzová, 1998).

5.2.2 Elektronické slunoměry

V poslední době jsou mechanické slunoměry v síti stanic ČHMÚ nahrazovány elektronickými slunoměry. Někde probíhá měření oběma typy slunoměrů současně. Jedná se zejména o elektronické slunoměry DSU12, SD4, SD5, SD6.

Obr. č. 7: Elektronické slunoměry DSU12, SD4, SD5, SD6



Zdroj: Pokorný, Vaníček (2007)

Nejpřesněji by samozřejmě bylo možné určovat délku slunečního svitu měřením přímého slunečního záření pomocí pyrhelimetrů, které by zaznamenávaly dobu, kdy je intenzita toku přímého slunečního záření vyšší než 120 W.m^{-2} . Takovéto měření je však poměrně finančně nákladné a není ho tak možné provádět na větším počtu stanic. Velmi dobře ale může sloužit k testování či kalibraci běžných slunoměrů (Pokorný, Vaníček, 2007). Na SOO - HK slouží tak toto měření jako referenční doba trvání slunečního svitu (DIR), k čemuž je od září 2005 využíván pyrhelimetr CH1.

Elektronický slunoměr DSU12

Tento slunoměr je poměrně lehce konstruovaný a používá se v poměrně nenáročných podmínkách. Není však vhodný pro geografické podmínky středních šířek z důvodu vysoké úrovně rozptýleného záření a nízké výšky Slunce nad obzorem v zimních měsících. Dalším problémem je velmi obtížné kalibrování. Z tohoto důvodu byl na stanicích ČHMÚ postupně nahrazen slunoměry typu SD4 nebo SD5 (Pokorný, Vaníček, 2007).

Elektronický slunoměr SD4

Princip měření tohoto slunoměru je optický. Záření z oblohy prochází skleněnou polokoulí a dopadá na clonu s podélnou štěrbinou orientovanou od jihu k severu. Pod ní je umístěna soustava diskretních fotocitlivých prvků - fotočlánků z monokrystalického křemíku. Na poli těchto prvků se vytváří obraz oblohy, tedy i obraz polohy Slunce. Každý z diskretních prvků je připojen na vyhodnocovací elektroniku snímače. Z porovnání intenzit osvětlení jednotlivých segmentů pole řídící program snímače vyhodnotí, zda na snímač dopadá pouze rozptýlené záření (Slunce je za oblačností, v mlze apod.) nebo i přímé sluneční záření nad úroveň 120 W.m^{-2} . Výstupem je tedy informace „ANO - NE“ (svítí - nesvítí). Snímač je určen pro připojení na vhodnou registrační jednotku, umožňující sledovat stav výstupu snímače v čase a tím získat informaci o průběhu přímého slunečního záření během vybraného období.

Tělo snímače, tvořící ochranu optického systému a elektroniky, je zhotoveno ze slitiny hliníku. Přístroj má vlastní vytápění, které zamezuje vzniku rosy, či námrazy na krycí polokouli a zajišťuje tak správné pracovní podmínky pro elektroniku, navíc je vodotěsný a neobsahuje žádnou pohyblivou část. Pro umístění snímače platí tytéž charakteristiky jako u Campbell - Stokesova slunoměru. Krom toho Digitální detektor přímého slunečního záření SD4 (2001) uvádí, že podle doporučení WMO (Světová meteorologická organizace) jsou tolerovány štíhlé překážky (antény, lana stožárů apod.) nad vodorovnou rovinou procházející tělem snímače, jejichž obraz na obloze nepřerušuje dráhu Slunce v úhlu (viděno z místa snímače) větším jak 2° . V takovém případě je vhodné zdokumentovat velikost a čas zastínění spolu s odhadem velikosti chyby, kterou toto zastínění může způsobit. Zároveň by v okolí místa instalace neměly být velké světlé plochy, které by odražením dopadajícího záření opět mohly naměřené hodnoty ovlivnit.

Elektronický slunoměr SD5

Slunoměr SD5 je v podstatě podobně konstruován jako jeho předchůdce SD4. Zásadní rozdíl mezi slunoměry SD4 a SD5 spočívá však v konstrukci optické části. Tu tvoří systém šestnácti štěrbin ve válcové cloně (Pokorný, Vaníček, 2007). Za každou štěrbinou je umístěna fotodioda. Slunoměr je instalován tak, aby osa clony byla paralelní s osou zemské rotace. Sluneční paprsky v denním chodu postupně procházejí jednotlivými štěrbinami. Přístroj při opakovaném skenování všech diod je schopen nalézt nejvíce osvětlenou fotodiodu a vyhodnotit intenzitu dopadajícího záření. Tento slunoměr vykazuje lepší technické vlastnosti než slunoměr SD4, proto se tento přístroj zavádí pro měření slunečního svitu v síti ČHMÚ (Pokorný, Vaníček, 2007).

5.2.3 Kompatibilita slunoměrů

Problematická situace při měření slunečního svitu může nastat, jsou-li na meteorologických stanicích použity různé typy slunoměrů za sledované období. Zejména jedná-li se o přechod z mechanických slunoměrů (Slunoměr Campbell - Stokes) na slunoměry elektronické (SD5). Existuje zde možnost určitého kvalitativního narušení homogenity řad měření délky slunečního svitu, čímž se zabýval Pokorný, Vaníček (2007) při ověřování přesnosti jednotlivých slunoměrů na SOO - HK vůči referenčnímu měření DIR.

Přesnost klasických *slunoměrů Campbell - Stokes* lze podle Pokorného, Vaníčka (2007) charakterizovat typickou chybou naměřené celoroční sumy v rozmezí +1% až +2,5%, na které se nejvíce podílí letní období. V této části roku dosahuje chyba měsíčních sum až 7%.

Vzhledem k tomu, že většina *slunoměrů SD4* nebyla před jejich instalací kontrolována a kalibrována na SOO - HK, je třeba považovat kvalitu jejich měření za neověřenou. Odhad chyby měření roční sumy SSV se pohybuje mezi -5% až -10%. Proto je v tomto případě lepší využívat údaje ze souběžného měření klasickým slunoměrem. Slunoměry SD4 byly díky této skutečnosti nahrazovány novým typem SD5.

Slunoměr SD5 měří sluneční svit stabilně v průběhu celého roku, tzn. i za různých povětrnostních podmínek. Chyba roční sumy nepřekračuje -1,7%. Směrodatná odchylka individuálních denních sum slunečního svitu vůči referenčnímu měření DIR nepřekračovala v testovaném měření hodnotu 0,34 h. V porovnání s klasickými slunoměry jsou tyto hodnoty

odhadovány na 0,56 h. Slunoměry SD5 pravděpodobně způsobí sezonní nehomogenity dlouhodobých řad, ve kterých je zdrojem rozdílů nižší kvalita a roční chod přesnosti měření Campbell - Stokesovým slunoměrem. Protože tento slunoměr spíše nadhodnocuje celoroční sumy SSV, lze po instalaci přesnějších slunoměrů SD5 očekávat nevýrazný pokles těchto sum, zhruba o 2% (Pokorný, Vaníček, 2007). Vzhledem k tomu, že zavedení slunoměrů SD5 se událo na stanicích ČHMÚ v poměrně nedávné době, proběhly zatím pouze částečná srovnání a testování. Odhady přesnosti budou i nadále probíhat na vybraných stanicích ČHMÚ zejména souběžným měřením SSV pomocí SD5 a CSS.

5.2.4 Chyby měření

Kromě problematiky odlišného měření slunečního svitu na stanicích a zejména přechodu od mechanických k elektronickým slunoměrům (kapitola 5.2.3), existují další faktory, které mohou ovlivnit měření délky slunečního svitu. U měření slunečního svitu mechanickým slunoměrem se jedná především o chyby vlivem používání různých typů slunoměrných pásek nebo jejich subjektivního vyhodnocování (Křivancová, 1997). Dochází také ke změně citlivosti přístroje vlivem stárnutí či znečištění atmosféry. U elektronických slunoměrů vznikají chyby vlivem špatné instalace či kalibrace přístroje. U dlouhodobého pozorování SSV mohou mít vliv na měření překážky, které mohou v průběhu sledovaného období měnit svou polohu, či výšku (vegetace, atd.).

6 OBLAČNOST

Světová meteorologická organizace (WMO) definuje oblak jako: „viditelnou soustavu nepatrných částic vody nebo ledu, případně obojího, v ovzduší. Tato soustava může obsahovat zároveň i větší částice vody nebo ledu a také jiné částice pocházející např. z průmyslových exhalací, kouře nebo prachu“ (Dvorný, Vesecký, 1965).

6.1 Klasifikace oblaků

Oblaky můžeme třídit podle těchto základních hledisek (Meteorologický slovník výkladový a terminologický, 1993):

- vzhledu (morfologie)
- vzniku a vývoje (geneze)
- nadmořské výšky
- složení

6.1.1 Morfologická klasifikace oblaků

Přes nekonečnou rozmanitost a proměnlivost tvarů oblaků byla formou doporučení Světové meteorologické organizace (WMO) stanovena morfologická klasifikace oblaků. Tato klasifikace je založena na vzhledu oblaků a rozlišuje **10 základních druhů** oblaků. Jeden a týž oblak nemůže současně náležet dvěma druhům.

Kromě 10 základních druhů oblaků jsou podle Mezinárodního atlasu oblaků z roku 1965 rozlišovány *tvary, odrůdy a zvláštnosti*. Oblačné tvary jsou definovány podle vnějšího vzhledu (barvy, sytosti, poměru světla a stínu, vláknitosti, makrotvaru). Tvarů je více než 10 a lze pro každý oblak přiřadit pouze jeden tvar. Odrůda vychází ze stupně průsvitnosti nebo z rozdílného uspořádání oblačných prvků (například uspořádání v podobě vln). Odrůdy je možno seskupovat a vytvářet z nich konglomeráty. U některých oblaků se mohou vyskytovat určité charakteristické úkazy, jako například srážkové pruhy, cáry nízkých oblaků, atd. Tento jev nazýváme zvláštnosti oblaků nebo průvodní oblaky (Dvorný, Vesecký, 1965).

6.1.2 Genetická klasifikace oblaků

Jedním z největších nedostatků morfologické klasifikace je její příliš úzké zaměření na určitý oblak nebo skupinu oblaků podobného typu. Nevystihují proto plně velmi důležitý

vztah určitých tvarů a druhů k fyzikálním charakteristikám. Vznikly proto genetické klasifikace oblaků, které vycházejí z fyzikálních podmínek jejich vzniku a vývoje (Dvorný, Vesecký, 1965). Podstata vzniku oblaků spočívá v ochlazení vzduchu v určité výšce nad zemským povrchem do té míry, že v něm obsažená vodní pára se stane nasycenou, dojde k její kondenzaci a k vytvoření velikého počtu drobných oblačných kapiček. Zmíněné ochlazení podmiňující vytvoření oblaků má zpravidla jednu z následujících příčin (Netopil, 1984):

Oblaky z konvekce (Cu, Cb) vznikají většinou uvnitř vzduchových hmot při výrazné termické konvekci. Vystupující vzduch se přibližně adiabaticky (bez výměny tepla s okolím) rozpíná a ochlazuje. V určité hladině, kterou nazýváme kondenzační, se potom vzduch stane nasyceným a při jeho dalším pohybu vzhůru, kdy se dále ochlazuje, vznikají následkem kondenzace vodní páry oblaky. Podle výšky hladiny kondenzace, hladiny ledových jader a výšky horní hladiny konvekce mají oblaky rozdílný vertikální rozměr, tvar a složení. Obdobným způsobem přispívají ke vzniku oblaků vzestupné proudy vzduchu vyvolané prouděním vzduchu přes horské nebo jiné terénní překážky (*orografická oblačnost*).

Oblaky z výstupných klouzavých pohybů vznikají při výstupu vzduchu na atmosférických frontách. Jedná se většinou o vrstevnaté oblaky druhu Ns, As nebo Cs především díky velmi malému úhlu, který svírá frontální plocha se zemským povrchem. Kromě toho mohou na čele studených front vznikat oblaky druhu Cb.

Oblaky vlnové na rozraní vzduchových hmot jsou spojena s existencí teplotních inverzí ve volné atmosféře, v nichž jsou potlačeny vertikální pohyby vzduchu. Na inverzní ploše mezi níže ležícím studeným a výše ležícím teplým vzduchem vznikají při rozdílném proudění v obou vzduchových hmotách tzv. vlnové pohyby. Leží-li toto rozhraní blízko kondenzační hladiny, vytvářejí se na hřebenech vln oblaky. (Obvykle oblaka druhu Sc a Ac). Další příčinou vzniku vlnových oblaků mohou být kromě vln ve volné atmosféře vlny způsobené dynamickou deformací proudění vzduchu za horskými překážkami. Tyto vlny bývají při stálých podmínkách proudění stacionární a na jejich hřebeny jsou vázány oblaky uvedených druhů s charakteristickým čočkovitým tvarem.

Oblaky mohou také vznikat **turbulentními pohyby**. Stává se tak při stabilním teplotním zvrstvení a dostatečně vlhkém vzduchu. Při probíhajících turbulentních pohybech

pak stačí i malý vzestupný proud ke kondenzaci vodní páry. Vzhledem k nahodilosti takového proudění pak vzniklé oblaky nemají stejný tvar ani hustotu a působí chaotickým dojmem.

Oblaky z vyzařování jsou důsledkem dlouhovlnného vyzařování, a tedy ochlazování zemského povrchu a přilehlé vrstvy vzduchu v důsledku záporné radiační bilance, při němž teplota klesne pod teplotu rosného bodu a dojde ke kondenzaci vodní páry. Tyto oblaky tvoří souvislou vrstvu obvykle pod základnou výškové inverze a náleží k druhu St. Obvykle vznikají za ustálené situace, nejčastěji v nočních a ranních hodinách. K radiačnímu ochlazování může docházet i ve výše položených vrstvách ovzduší, pokud obsahují zvýšené množství vodní páry, popř. kondenzačních produktů. Vodní pára a kondenzační produkty totiž intenzivně vyzařují dlouhovlnné (tepelné) záření, čímž se příslušná vrstva vzduchu ochlazuje. Genetickou klasifikací se zabýval především G. Stüve, později ji doplnil W. Georgii o oblaky vzniklé z vyzařování nebo také K. Kähler (Podzimek, 1959).

6.1.3 Klasifikace oblaků podle výšky

Podle nadmořské výšky svého výskytu rozdělujeme oblaky do tří pater (Netopil, 1984):

Oblaky nízkého patra (St, Sc, Ns) zasahují obvykle do výšky 2 km. Oblaky jsou charakteristické tmavě šedou barvou, neprosvítá jimi Slunce, nemají výraznou strukturu. Vypadávají z nich trvalé srážky. Někdy jsou tvořeny velkými shluky nebo pásy oblaků šedé barvy, kterými Slunce prosvítá jen slabě nebo vůbec ne (Sc). Mohou též tvořit jednotvárnou šedou vrstvu podobnou mlze (St), z níž vypadává mrholení nebo sněhové jehličky.

Oblaky středního patra (Ac, As) sahají do výšky nejčastěji 2 - 5 km. Oblaky mají buď tvar shluků bílé barvy, někdy se stíny, popř. mohou být uspořádány do linií (Ac), nebo mají vláknitou až vrstevnatou strukturu světle šedé až namodralé barvy (As). Slunce jimi zpravidla prosvítá, takže lze určit jeho polohu, okraje slunečního kotouče jsou však neostře.

Vysoké patro oblaků (Ci, Cs, Cc) může dosáhnout do výšky 6 - 9 km. Oblaky jsou tvořeny výhradně ledovými krystaly a jsou bílé barvy. Slunce jimi prosvítá a má ostré kontury. Jejich tvar je buď vláknitý (Ci), nebo jsou tvořeny drobnými shluky ve tvaru chomáčků popřípadě úzkých pruhů (Cc - tzv. beránky), často tvoří i souvislou tenkou bělavou vrstvu bez výrazné struktury (Cs).

Oblaky s vertikálním vývojem (Cu, Cb) jsou osamocené oblaky vyznačující se plochou, vodorovnou základnou, z níž do výšky vyrůstají ostře ohraničené vrcholy ve tvaru kopulí bílé barvy na ozářené straně a šedé barvy na zastíněné straně. Mohou mít různý vertikální a horizontální rozměr. Při velkém vertikálním dosahu výstupných proudů se z nich vyvíjejí bouřkové oblaky (Cb) mající tvar věží, přecházejících často v horní části do vláknité struktury obvykle ve tvaru kovadliny, tvořené ledovými krystaly. Vypadávají z nich krátkodobé intenzivní srážky, často v podobě krup, doprovázené mnohdy bouřkou. (Netopil, 1984).

6.1.4 Klasifikace oblaků podle složení

Jedna z možností je také rozdělovat oblaky z hlediska složení na **oblaky vodní**, které jsou tvořeny pouze z vodních kapiček (Ac, Sc, St, Cu). Vodní oblaky se dále dělí na teplé, které existují při teplotách nad 0°C a oblaky přechlazené tvořeny z kapiček přechlazené vody za teplot pod 0°C (Kobzová, 1998). **Ledové oblaky** jsou tvořeny ledovými částicemi (Ci, Cs, Cc). **Smíšené oblaky** (As, Ns, Cb) jsou tvořeny promíchanými kapičkami s ledovými částicemi (Netopil, 1984).

6.2 Optické jevy

Ohybem, lomem a odrazem světelných paprsků na kapkách vody nebo ledových krystalech v oblacích vznikají charakteristické optické jevy (Netopil, 1984). Ohyb světla na částicích oblaků druhu Ac, Cc a Cs způsobuje tzv. věnec - **korónu** kolem Slunce a Měsíce. Jde o světlý kruh těsně přiléhající ke zdroji světla - aureolu, která barevně přechází od namodralého zbarvení ve vnitřní části k načervenalé. Aureola bývá obklopena jedním nebo několika prstenci stejného zbarvení. Kolem stínu předmětů na oblacích nebo mlze vznikají barevné světelné kruhy, tzv. **gloriola**. Lomem paprsků a odrazem slunečního, popřípadě měsíčního světla při pronikání tenkými vrstvami oblaků druhu Ci a Cs vznikají **halové jevy**. Jsou to buď světlé až mírně duhově zbarvené či perleťové pruhy, oblouky či kruhy o úhlovém poloměru 22° nebo 46° (malé nebo velké halo), nebo tzv. vedlejší Slunce ve stejné výškové úrovni jako Slunce ve vzdálenosti 22° nebo 46° od něho. **Irizování oblaků** vzniká ohybem a interferencí slunečních paprsků na přechlazených vodních kapičkách nebo ledových krystalcích. Projevuje se především duhovým nebo perleťovým zbarvením jejich okrajů. Nestejným lomem paprsků o různé vlnové délce způsobujícím rozklad světla při pronikání kapkami deště vzniká **duha** - světelný oblouk o poloměru přibližně 42°. **Soumrakové jevy** jsou jevy provázející východ či západ Slunce, kdy je vlivem znečištění atmosféry prachem, či

vodním aerosolem sluneční světlo zabarveno do červena. Zcela ojedinělými jsou krátkodobá zabarvení oblohy či části slunečního disku. V tomto případě hovoříme o tzv. fialové záři nebo zeleném paprsku (Netopil, 1984).

6.3 Způsob měření

6.3.1 Určení množství oblačnosti

Množství a typ oblačnosti patří k nejdéle a nejčastěji sledovaným parametrům stavu atmosféry. Podle Meteorologického slovníku výkladového a terminologického (1993) oblačnost znamená stupeň pokrytí oblohy oblaky. Je důležitým meteorologickým prvkem, který nepřímo udává trvání slunečního svitu. Výskyt oblačnosti se obvykle určuje subjektivním pozorováním pracovníků meteorologických stanic - třikrát denně na dobrovolnických klimatologických stanicích a každou hodinu na profesionálních synoptických nebo leteckých stanicích. Určování výskytu oblačnosti je možné rovněž pomocí družic, radarů nebo speciálních pozemních přístrojů.

Množství oblačnosti se stanoví odhadem, spolehlivě se odhaduje z místa, ze kterého je možné přehlédnout celou oblohu. Oblaky roztroušené po obloze se seskupí tak, aby se nepřekrývaly, ale aby také mezi nimi nebyly mezery, a potom je možné odhadnout, kolik desetin plochy oblohy je zakryto oblaky. Odhadnutý počet desetin pokrytí oblohy se zapisuje v celých číslech od 0 do 10. Bylo-li např. stanoveno množství oblačnosti 5, znamená to, že 5/10 oblohy bylo zataženo oblaky a 5/10 oblohy bylo jasné. Množství oblačnosti „0“ se zapíše tehdy, je-li obloha bez jediného obláčku. Číslo „10“ naopak v případě, že je obloha úplně zakryta oblaky (Dvorný, Vesecký, 1965). Správné stanovení množství oblačnosti závisí na zkušenosti pozorovatele. Zkušený pozorovatel odhadne tuto hodnotu s přesností na 10 %. Mnozí pozorovatelé však přeceňují množství oblačnosti blízko obzoru. Oblaky se zde totiž jeví větší, podobně jako Slunce a Měsíc. Proto oblačnost v dolní třetině oblohy se oceňuje nižším číslem než oblačnost ve vyšší výšce a v nadhlavníku. Za úplné tmy lze odhadnout množství oblačnosti podle viditelnosti hvězd (Slabá, 1972).

Kromě vizuálního určení vzhledu a celkového množství oblačnosti se obvykle provádí ještě měření výšky spodní základny oblačnosti. Toto měření se provádí buď vizuálně, nebo měřením. V historii probíhalo měření především pilotovacím balónkem nebo mrakoměrným

světlo metrem. V současné době tzv. ceilometrem. Princip tohoto měření spočívá v měření elevačního úhlu, pod nímž dopadá na přijímač odraz světelného paprsku od spodní základny oblačnosti vyslaného vysílačem. Z meteorologického hlediska je toto měření dosti obtížné především díky odlišným fyzikálním vlastnostem (hustota a odrazivost) a komplikacím při vypadávání srážek nebo mlze či kouřmu (Kobzová, 1998).

Výsledkem vizuálního sledování oblačnosti, popřípadě jejího sledování technickými prostředky (družicemi, radiolokátory, letadlovými průzkumy počasí, atd.) je kromě stanovení druhů a dalších charakteristik oblaků, celkové pokrytí oblohy oblaky, popřípadě pokrytí oblohy jejich jednotlivými vyznačenými druhy, výšky základny oblaků, také určení vertikální mohutnosti oblaků (tloušťka oblačné vrstvy), optické hustoty oblaků (schopnost oblaků propouštět světlo), tahu oblaků (směr a rychlost pohybu oblaků). V klimatických termínech všechny meteorologické stanice zaznamenávají pouze množství oblačnosti a hustotu oblačnosti (Kobzová, 1998).

6.3.2 Určení hustoty oblačnosti

Hustota oblačnosti se posuzuje podle svitu Slunce, popřípadě podle toho, prosvítá-li skrz oblačnost modrá obloha. Vyjadřuje se čísly 0 - 2, které se připisují vpravo nahoře k zjištěnému množství oblačnosti. K vyjádření hustoty se používají následující stupnice: 0 - řídká oblačnost, 1 - mírně hustá oblačnost, 2 - velmi hustá oblačnost. Například prosvítá-li Slunce skrz oblačnost tak, že předměty vrhají stíny a slunoměr zaznamenává svit Slunce (propaluje pásek), vyhodnotí se hustota oblačnosti jako 0. Prosvítá-li Slunce skrz oblačnost tak, že je vidět pouze jeho obrysy a předměty již nemají stíny (slunoměrný pásek není propálený), píše se exponent 1. Neprosvítá-li slunce skrz oblačnost vůbec, píše se exponent 2.

Hustota oblačnosti v žádném případě nesmí ovlivňovat odhad množství oblačnosti, tzn., že i u vysokých závojovitých oblaků, jimiž slunce prosvítá, se odhad množství oblačnosti vzhledem k její hustotě nesnižuje a píše se skutečně odhadnuté číslo s patřičným exponentem. Rovněž by byla chyba, kdyby pozorovatel zapisoval k vysokým oblakům jen exponent 0, k středním 1 a k nízkým jen 2 (Dvorný, Vesecký, 1965).

6.3.3 Tah oblaků

Tah oblaků dává informaci o směru a rychlosti větru ve výšce základny oblaků. Pokud se na obloze současně vyskytují nízké a střední (popřípadě vysoké) oblaky, je pozorování

jejich tahu velmi důležité pro předpověď počasí podle místních příznaků. Velké rozdíly ve směru tahu nízkých a středních (popřípadě vysokých) oblaků jsou totiž většinou příznakem blížící se výraznější změny počasí. Bylo-li například pěkné a teplé počasí, hrozí většinou jeho zhoršení a naopak po deštivém a chladném počasí dochází ke zlepšení. Výrazná změna směru větru s výškou se v meteorologii označuje termínem stříh větru (Kobzová, 1998).

7 REŽIM GLOBÁLNÍHO SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ, SLUNEČNÍHO SVITU A OBLAČNOSTI V ČR

Vlivem astronomických zákonů, které určují polohu Slunce na obloze, má intenzita globálního záření a jeho složek v daném místě zemského povrchu výrazný denní a roční chod. Stejně tak se mění délka slunečního svitu během roku. Existuje zde také výrazné ovlivnění aktuálním stavem atmosféry - především oblačností (vodními kapičkami a krystaly) a prachovými částicemi (aerosoly) obsaženými ve vzduchu. V důsledcích těchto faktorů je sluneční záření časově i prostorově značně proměnlivým klimatickým prvkem (Atlas podnebí Česka, 2007).

Výskyt oblačnosti na území Česka je ovlivněn především uspořádáním atmosférické cirkulace v oblasti střední Evropy (Vaníček, 1994), zejména polohou republiky vůči frontální zóně (přesun oblačnosti spojené s přechodem front), členitostí terénu (tvorba oblačnosti stoupavými pohyby vzduchu na horách nebo naopak výskyt inverzí v nížinách) a stupněm znečištění atmosféry (Atlas podnebí Česka, 2007).

7.1 Denní chod

Denní chod oblačnosti je ovlivněn řadou faktorů, mezi něž patří například typ vzduchové hmoty, charakter advekce a časové změny teplotní stratifikace, a je navíc odlišný u různých druhů oblaků (Netopil, 1984). Oblaka typu St vznikají jako důsledek ochlazování atmosféry dlouhovlnným vyzařováním, dosahují největšího vývoje v noci a časně ráno. Naproti tomu kupovitá oblaka, vázaná na instabilní teplotní zvrstvení a konvekci, se nejintenzivněji tvoří přes den. Tento proces je zvláště výrazný v horských oblastech. S uvedenými procesy je v našich klimatických podmínkách spojeno dvojí maximum v denním chodu oblačnosti - ráno a v časných odpoledních hodinách, pokud tento režim není modifikován přechodem frontálních oblačných systémů. V zimě při slabé konvekci se vyskytuje pouze jedno maximum ráno.

7.2 Roční chod

V rámci ročního chodu je u nás největší oblačnost vázána na zimu a souvisí s velkou intenzitou cyklonální činnosti, tedy s frontálními oblačnými systémy, minimum se vyskytuje na podzim nebo v létě (kolem letního slunovratu), kdy se tvoří hlavně konvektivní oblačnost (Netopil, 1984).

Z map úhrnů globálního záření pro rok a vybrané měsíce - březen, červen, září a prosinec (příloha č. 9), je možné vidět, že nejvíce energie dopadá ve formě sluneční radiace z celoročního hlediska na jihovýchodní Moravě (Atlas podnebí Česka, 2007). Tato část území Česka je nejméně ovlivněna výskytem frontální oblačnosti, má proto výraznější kontinentální charakter klimatu. Nejnižší úhrny globálního záření se naopak vyskytují v pohraničních horách (orografická tvorba oblačnosti) a v severozápadních Čechách, kde je sluneční záření zeslabeno větším výskytem oblačnosti a v minulosti i znečištěním atmosféry vysokými emisemi průmyslových aerosolů. V zimním období však v horských oblastech nad inverzní vrstvou oblačnosti dopadá srovnatelné nebo i větší množství slunečního záření než v nížinách, čemuž odpovídá i délka slunečního svitu (Atlas podnebí Česka, 2007).

8 POVĚTRNOSTNÍ SITUACE

Pro území České republiky se pravidelně sestavuje kalendář synoptických typů od roku 1946. Typizace povětrnostních situací se dělá na základě metodického předpisu: Katalog povětrnostních situací pro území ČSSR (1968), kde jsou podrobně popsány jednotlivých typy. V letech 1946 - 1990 byl sestavován jednotný kalendář pro celé území tehdejšího Československa, od roku 1991 je sestavován zvlášť pro území České republiky a zvlášť pro území Slovenské republiky. Celoroční přehled výskytu typických situací po dnech vychází jako příloha časopisu Meteorologické zprávy, v současné době je možné informace o jednotlivých situacích získat na internetových stránkách ČHMÚ (Racko, 2008).

8.1 Roční chod slunečního svitu, globálního záření a oblačnosti v závislosti na povětrnostních situacích

V zimním období (listopad až únor s relativně častým výskytem inverzní oblačnosti i přes den a s absencí termické konvekce) je největší relativní doba trvání slunečního svitu a nejvíce slunečního záření u všech putujících anticyklón, především Ap3 a Ap4, nevyskytuje se u nich frontální oblačnost a obvykle ani inverzní oblačnost. Vysoké hodnoty slunečního svitu mají také anticyklonální situace s převládající studenou advekcí Ea a NEa. Ostatní anticyklonální situace se vyznačují již s menším slunečním svitem, protože se při nich vytvářejí mlhy nebo nízká inverzní oblačnost, která se často udržuje i přes den. Zároveň je při těchto situacích patrný větší rozdíl mezi jednotlivými oblastmi a nadmořskými výškami v ČR, což ukazuje, že výskyt a udržování mlh a nízké oblačnosti značně závisí na reliéfu terénu (Křivancová, 1997). Cyklonální situace jsou v zimě naopak vyrovnanější, převládá frontální oblačnost. Nejméně slunečního svitu a nejmenší přísun energie slunečního záření mají situace Ec a SEc, během nichž zůstává obvykle zataženo nízkou oblačností, u ostatních cyklonálních situací dochází k občasnému přechodnému zmenšování oblačnosti v nevýrazných přízemních hřebenech nebo jádrech vyššího tlaku vzduchu.

V letním období (květen až srpen s převahou oblačnosti konvektivního charakteru) se během dne inverzní oblačnost téměř nevyskytuje, takže všechny anticyklonální situace se vyznačují poměrně dlouhým slunečním svitem, nejdelší typ A. Méně slunečního svitu díky větší oblačnosti mají anticyklonální situace s advekcí vlhčího oceánského vzduchu od západu (typy Wa, NWa) a také situace Wal, u které průměrnou oblačnost zvyšují přechody

studených front. Cyklonální situace mají svit samozřejmě kratší, i když v letním období jsou hodnoty vyšší než v zimním období.

Jarní období (březen a duben) se v zásadě podobá poměrům období letního. Většina situací má ale relativní dobu svitu oproti létu kratší. Podobná je situace v ***podzimních měsících*** (září a říjen). V těchto přechodných ročních obdobích se sice občas inverzní oblačnost objevuje, ale spíše jen v nočních a ranních hodinách, přes den se pak většinou rozpouští (Křivancová, 1997).

9 POUŽITÉ MATERIÁLY A METODY

9.1 Použité datové zdroje

Tab. č. 3: Základní charakteristiky stanic: Hradec Králové, Labská bouda a Praha - Libuš

Název stanice	LABSKÁ BOUDA	PRAHA - LIBUŠ	HRADEC KRÁLOVÉ
Zeměpisné souřadnice	50° 46' 13.05" sš 15° 32' 43.29" vd	50° 0' 30.00" sš 14° 26' 53.00" vd	50° 10' 38.00" sš 15° 50' 21" vd
Nadmořská výška	1310 m n. m.	303 m n. m.	287 m n. m.
Data	1979 - 2009 (neúplná)	1971 - 2009	1999 - 2008
Přístroj	sluneční svit: slunoměr Campbell - Stokes od 26.4.2004 SD5	sluneční svit: slunoměr Campbell - Stokes od 1. 1. 2000 SD4 od 1.4 2005 SD5	sluneční svit: SD4 od 1.3.2006 SD5 globální záření: CM11

Zdroj: ČHMÚ (2009)

V diplomové práci jsem použila data ze tří meteorologických stanic na území České republiky. V první části jsem zpracovala data za období 1999 - 2008 ze Solární a ozonové observatoře ČHMÚ v Hradci Králové (287 m n. m.), která se již dlouhodobě zabývá problematikou slunečního záření a slunečního svitu. Denní hodnoty globálního záření, slunečního svitu i oblačnosti byly za toto období kompletní a za celé sledované období se neměnil typ přístroje měření globálního slunečního záření (CM11). Sluneční svit byl měřen elektronickými slunoměry SD4 a SD5. Oblačnost byla určována subjektivním odhadem pracovníků stanice. Dále jsem využila data z povětrnostních situací za totožné desetileté období z internetové databáze Českého hydrometeorologického ústavu (Racko, 2008).

V druhé části, kde jsem navázala na svou bakalářskou práci (Schováňková, 2007), mě zajímala délka slunečního svitu ve vyšších nadmořských výškách v zimním období v porovnání s Prahou. Zvolila jsem stanici na Labské boudě, která leží v nadmořské výšce 1310 m n. m. Ke zpracování jsem využila data, která zde byla zaznamenávána již od roku 1970. Musela jsem ale pro konkrétní statistické metody vybrat pouze některé roky vzhledem k chybějícím měřením v některých měsících. Zaměřila jsem se na rozdíl mezi Prahou a horským územím Krkonoš. V Praze jsem využila data ze stanice Praha - Libuš v nadmořské výšce 303 m n. m., kde byly údaje od roku 1971 kompletní. Data z meteorologických stanic na Labské boudě a z Prahy - Libuše mi poskytl Český hydrometeorologický ústav. Na rozdíl od své bakalářské práce jsem měla k dispozici data z obou těchto stanic až do roku 2009, tedy o tři roky delší řadu. Na těchto stanicích byly k měření slunečního svitu používány různé typy

slunoměrů za sledované období, jak je vidět z tab. č. 3. Zejména se jedná o přechod z mechanických slunoměrů (Slunoměr Campbell - Stokes) na slunoměry elektronické (SD5). Mohlo tedy dojít k určitému kvalitativnímu narušení homogenity řad měření délky slunečního svitu.

9.2 Korelační vztah

Pokud nás zajímá vztah mezi globálním zářením, slunečním svitem a oblačností, popřípadě některými dalšími povětrnostními prvky, které s ním úzce souvisí, použijeme korelačního vztahu, tedy vyjádříme pro dva vybrané prvky korelační koeficient. Rovnice korelačního koeficientu podle Noska (1972) je:

$$r_{xy} = \frac{1}{N} \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{s_x s_y} \quad (1)$$

kde:

$$-1 \leq r_{xy} \leq 1$$

r_{xy} korelační koeficient mezi prvkem x a y

N počet měření

$s_x; s_y$ směrodatná odchylka prvku x; y

$x_i; y_i$ hodnota prvku x; y

$\bar{x}; \bar{y}$ průměrná hodnota prvku x; y

Korelace od 0,7 - 0,9 znamená vysoký stupeň těsnosti mezi jednotlivými prvky a hodnoty nad 0,9 znamenají velmi úzký vztah. Negativní hodnoty korelačního koeficientu znamenají, že prvky navzájem mezi sebou souvisí nepřímo, to znamená například, že čím je vyšší jeden prvek, tím je nižší druhý a obráceně (Petrovič, 1960).

9.3 Odvození globálního slunečního záření

Převážná část materiálů a literatury zabývající se vztahem globálního slunečního záření a slunečního svitu, které jsem používala, vycházela z původního Angströмова vztahu (1924). Další autoři tento vztah určitým způsobem pozměnili a přizpůsobili konkrétním geografickým podmínkám a definovali příslušné konstanty, tak aby odvozené globální záření co nejpřesněji odpovídalo skutečně naměřenému.

9.3.1 Původní Angströmový vztah

Existuje předpoklad, že globální záření je přibližně lineárně závislé na relativním slunečním svitu. Tento přibližný lineární vztah vyjádřil již Angström (1924). Dále ho například aplikoval Petrovič (1960).

$$G_R = G_0 [\alpha + (1 - \alpha)R] \quad (2)$$

kde:

G_0	globální záření za jasných dnů v MJ.m ⁻²
G_R	globální záření ve dnech s relativním slunečním svitem o R% v MJ.m ⁻²
R	relativní sluneční svit v %
α	konstanta

Za relativní sluneční svit (R) považuje Angström (1924) poměr skutečně trvajcího slunečního svitu k astronomicky možnému. Astronomicky možný sluneční svit lze vypočítat pomocí následujícího vztahu (Akpabio, 2003):

$$S_o = \left(\frac{2}{15}\right) \omega \quad (3)$$

$$\omega = \cos^{-1}(-\tan\varphi \tan\delta) \quad (4)$$

$$\delta = 23,45 \sin\left(360 \frac{248 + D}{365}\right) \quad (5)$$

kde:

S_o	astronomicky možná doba slunečního svitu v hodinách
ω	hodinový úhel v °
φ	zeměpisná šířka stanice v °
δ	deklinace v °
D	pořadí dne v roce

Vztah pro odvození globálního záření je však možné použít pouze pro výpočet průměrných hodnot, pro jednotlivé dny by vyšly značně nepřesně. Vypočítané hodnoty podle výše uvedeného vztahu však v porovnání s naměřenými hodnotami vykazují značné odchylky (Petrovič, 1960), což je dáno zejména tím, že závislost globálního záření na relativním

slunečním svitu není přesně lineární. Petrovič (1960) uvádí, že vztah obou veličin je lineární asi od $R > 20\%$.

Ve vztahu je velmi důležité správně určit konstantu α . Jedna z možností je určit konstantu α jako poměr průměrné denní sumy globálního záření při $R = 0$ a $R = 1$, to znamená poměr globálního záření zatažených dnů ke globálnímu záření jasných dnů. Vypočítané průměrné měsíční denní sumy záření však budou mírně zkreslené. Proto byl navržen jiný postup k určení konstanty α za předpokladu lineární závislosti obou veličin (G_R a G_0) na R až k hodnotě záření pro $R = 0$. Sestrojí se pro každý měsíc zvlášť přímka, která vyjadřuje závislost obou veličin na relativním slunečním svitu R a je jednoznačně dána body G_0 a G_R , které představují záření za jasných dnů a dnů s relativním slunečním svitem R pro příslušný měsíc. Na ose y tak dostaneme v průsečíku spojnic těchto bodů nový bod G' , pro $R = 0$. Podle Petroviče (1960) je tedy nutné pro výpočet konstanty α použít poměr nově odvozené hodnoty G' a G_0 . Takto vzniklé hodnoty je potřebné ještě dále poupravit při použití Angströмова vzorce. Výsledný modifikovaný tvar pak vypadá takto:

$$G'(R) = G_0 \left[\alpha' + (1 - \alpha')R - \left(\frac{n}{m}\right)(\alpha' - \alpha) \right] \quad (6)$$

kde:

n	počet dnů zatažených
m	počet dnů v měsíci
α'	$\frac{G'R_0}{G_0}$
α	poměr globálního záření zatažených dnů a jasných dnů
R	relativní sluneční svit v %
G_0	globální záření za jasných dnů v MJ.m^{-2}
$G'(R)$	nově odvozené globální záření ve dnech s relativním slunečním svitem o $R\%$ v MJ.m^{-2}

Vztah je vyjadřován pomocí jasných a zatažených dnů. Prošek a Rein (1982) charakterizuje dny jasné jako dny radiační, kdy oblačnost nedosahuje 2/10 a dny s oblačností nad 8/10 jako dny zatažené. Pro použití Angströмова vztahu použil Petrovič (1960) upravené charakteristiky jasných a zatažených dnů. Konkrétně jako jasné dny Petrovič (1960) vymezil dny, kdy pokrytí oblohy oblaky nepřekročilo 3/10. Jako zatažené dny potom byly stanoveny

dny se stupněm oblačnosti 10/10. Zároveň záznam délky slunečního svitu nebyl delší než 0,1 h.

9.3.2 Angström - Prescottův vztah

Základní lineární Angströmovův vztah (1924) dále upravil Prescott (1940). Tento vztah je označován jako Angström - Prescottův odhad globálního záření:

$$G = G_o \left[a + b \left(\frac{s}{s_o} \right) \right] \quad (7)$$

Později byl tento vztah v literatuře rozšířen na druhý a třetí polynom (Ertekin, Yaldiz, 2000):

$$G = G_o \left[a + b \left(\frac{s}{s_o} \right) + c \left(\frac{s}{s_o} \right)^2 \right] \quad (8)$$

$$G = G_o \left[a + b \left(\frac{s}{s_o} \right) + c \left(\frac{s}{s_o} \right)^2 + d \left(\frac{s}{s_o} \right)^3 \right] \quad (9)$$

kde:

a, b, c, d	regresní koeficienty
s_o	astronomicky možná suma slunečního svitu v daném místě v hodinách
G_o	suma energie slunečního záření dopadající nad daným místem na jednotku horizontální plochy vnější hranice zemské atmosféry v MJ.m ⁻²
G	globálního záření v MJ.m ⁻²
s	délka slunečního svitu v hodinách

Druhý a třetí polynom se však neukázal výrazně přesnější pro odhad globálního záření, proto je obvykle v literatuře používán první základní lineární Angströmovův vztah (Ertekin, Yaldiz, 2000).

Průměrné měsíční sumy globálního slunečního záření

Na Angström - Prescottův vztah navázal v české literatuře zejména Vaníček (1985). Vaníček vychází z průměrných měsíčních sum. Z těch později dalším vztahem odvozuje konkrétní průměrné denní sumy. Základní Vaníčkův vztah zní:

$$\bar{G}_m = G_{om} \left[a + b \left(\frac{\bar{s}_m}{s_{om}} \right) \right] \quad (10)$$

kde:

a, b regresní koeficienty

\bar{G}_m průměrné měsíční sumy globálního záření v MJ.m⁻²

\bar{s}_m průměrné měsíční sumy slunečního svitu v hodinách

s_{om} astronomicky možná měsíční suma slunečního svitu v daném místě v hodinách

G_{om} měsíční suma energie slunečního záření dopadající nad daným místem na jednotku horizontální plochy vnější hranice zemské atmosféry v MJ.m⁻²

Zmíněné hodnoty \bar{G}_m pomocí výše uvedených vztahů vycházejí z průměrných měsíčních sum slunečního svitu \bar{s}_m . Veličiny s_{om} a G_{om} jsou závislé pouze na zeměpisné šířce daného místa. Jejich hodnoty pro Hradec Králové (tedy 50° s. š.) vycházejí z tabulek č. 4 a 5. Hodnoty s_{om} lze také vypočítat pomocí vztahů: 3; 4; 5 (Akpabio, 2003) uvedených v kapitole 9.3.1.

Tab. č. 4: Hodnoty s_{om} v hodinách pro zeměpis. šířku 48°, 49°, 50°, 51° s. š. při sluneční konstantě 1367 W.m⁻²

s_{om}	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
48°	268	281	361	402	464	473	477	436	370	327	271	256
49°	264	279	361	404	467	477	481	438	370	326	267	251
50°	260	277	360	406	470	482	486	440	371	324	264	246
51°	256	274	360	407	475	487	490	443	371	322	260	241

Zdroj: Vaníček (1985)

Tab. č. 5: Hodnoty G_{om} v MJ.m⁻² pro zeměpis. šířku 48°, 49°, 50°, 51° s. š. při sluneční konstantě 1367 W.m⁻²

G_{om}	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
48°	320	444	729	965	1202	1250	1246	1076	799	560	347	275
49°	301	427	713	954	1197	1248	1243	1068	785	542	329	257
50°	282	410	697	944	1192	1247	1240	1059	771	524	311	238
51°	263	393	680	933	1187	1245	1237	1050	757	506	293	220

Zdroj: Vaníček (1985)

Koeficienty a, b vykazují závislost na geografických a klimatických podmínkách. Určují se pro zvolenou oblast statistickým způsobem jako koeficienty lineární regrese mezi veličinami \bar{G}_m/G_{om} a \bar{s}_m/s_{om} . Výpočet těchto koeficientů je v literatuře značně odlišný,

každý autor přistupuje k jejich výpočtu odlišnými regresními metodami. Jejich stanovení pro konkrétní území je však poměrně důležité a nesprávné stanovení těchto koeficientů tak může vést ke značnému zkreslení výsledných hodnot odvozeného globálního záření. Pro území naší republiky byly tyto koeficienty určeny pomocí dosavadních dlouhodobých radiačních měření (Vaníček, 1985). Jejich hodnoty pro Hradec Králové, tedy nadmořskou výšku 287 m jsou uvedeny v tabulce č. 6.

Tab. č. 6: Hodnoty koeficientů a, b v závislosti na nadmořské výšce pro území ČR
do 700 m

měsíc	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
a	0,17	0,20	0,23	0,22	0,20	0,26	0,26	0,24	0,16	0,17	0,15	0,18
b	0,65	0,54	0,52	0,56	0,62	0,51	0,48	0,52	0,68	0,64	0,68	0,50

700 - 1000 m

a	0,17	0,27	0,28	0,22	0,20	0,26	0,26	0,24	0,19	0,18	0,21	0,18
b	0,65	0,59	0,58	0,56	0,62	0,51	0,48	0,52	0,71	0,76	0,67	0,50

nad 1000 m

a	0,30	0,27	0,28	0,17	0,20	0,26	0,26	0,24	0,19	0,18	0,21	0,28
b	0,48	0,59	0,58	0,82	0,62	0,51	0,48	0,52	0,71	0,76	0,67	0,51

Zdroj: Vaníček (1985)

Měsíční sumy globálního slunečního záření v jednotlivých letech podstatně kolísají a pro daný měsíc v roce mají charakter náhodné veličiny. Rozborem dosavadních měření z území tehdejšího ČSSR bylo zjištěno, že pro tyto individuální měsíční sumy lze použít předpoklad jejich normálního statistického rozložení (Vaníček, 1985).

K výše zmíněným rovnicím je nutno dodat, že platí pouze pro určování průměrných měsíčních sum \bar{G}_m . Nelze je však používat k výpočtům individuálních měsíčních sum v jednotlivých letech. Podrobný statistický rozbor dosavadních radiačních měření ukázal, že by takto vypočítané sumy záření byly zatíženy chybou v letním období 10 - 30% a v zimním období dokonce 20 - 40% (Vaníček, 1985).

Průměrné denní sumy globálního slunečního záření

Průměrné měsíční sumy \bar{G}_m vypočítané pomocí vztahů (viz výše) umožňují po vydělení počtem dní v daném měsíci určit průměrné denní sumy globálního záření \bar{G}_d

ve středových dnech měsíců. Pod pojmem "středový den měsíce" se přitom rozumí den, ve kterém se deklinace Slunce nejvíce blíží váženému průměru deklinace v daném měsíci (Vaníček, 1985). V praxi lze bez větších chyb ztotožnit středové dny s kalendářními středy jednotlivých měsíců. Hodnoty \bar{G}_d v ostatních dnech lze přibližným způsobem stanovit tak, že se určí \bar{G}_d ve středových dnech všech měsíců v roce a těmito dvanácti body se proloží křivka ročního chodu. Z této křivky lze potom odečíst průměrné denní sumy pro libovolný den v roce.

Hodnoty \bar{G}_d stanovené pro dané místo výše popsaným způsobem platí pro zprůměrovaný stav atmosféry, tj. pro průměrnou oblačnost a atmosférický zákal.

9.3.3 Klabzubův vztah

Bureš, Klabzuba, Kožnarová (1999) používají další model výpočtu globálního záření. Je založen taktéž na statistickém vztahu mezi globálním zářením a relativním slunečním svitem. Rovnice byla stanovena na základě naměřených dat ze Solární a ozonové observatoře Hradec Králové za období 1960 - 1979.

$$G = 7,19 + 0,258 \left(\frac{s}{s_0} \right) - 9,28 \times 10^{-6} \left[\left(\frac{s}{s_0} \right) + 22,9 \right] (D - 174,7)^2 \quad (11)$$

kde:

D	pořadí dne v roce
s_0	astronomicky možný sluneční svit v daném místě v hodinách
G	globálního záření v MJ.m ⁻²
s	sluneční svit v hodinách

Metoda byla vymyšlena konkrétně pro území České republiky a její hlavní výhoda je jednoduchost. Na druhé straně byla konstruována pro jediné místo (Hradec Králové) v České republice a může být tak použita pouze pro podobné klimatické a orografické podmínky, pro které byla metoda definována. Navíc díky této metodě je možné odvodit hodnoty globálního záření pouze přes letní půlrok (březen až říjen), protože byla konstruována zejména z důvodu zjištění globálního slunečního záření kvůli pěstování zemědělských plodin. Odvozené hodnoty globálního záření přes zimní půlrok jsou tedy značně nepřesné (Bureš, Klabzuba, Kožnarová, 1999). Vzhledem k této skutečnosti jsem tuto metodu ve své práci nepoužila.

9.3.4 Blackův vztah

V literatuře (například Black, 1956) je často uvedeno odvození globálního záření z dat o oblačnosti. Data získaná použitím oblačnosti jsou však v porovnání se slunečním svitem mnohem méně přesná, jelikož jsou subjektivně získávána pozorováním. Black (1956) sestavil vztah pro průměrnou oblačnost:

$$\bar{G} = G_o(0,803 - 0,340\bar{O} - 0,458 \bar{O}^2) \quad (12)$$

kde:

G_o	suma energie slunečního záření dopadající nad daným místem na jednotku horizontální plochy vnější hranice zemské atmosféry v MJ.m ⁻²
\bar{G}	průměrné sumy globálního záření v MJ.m ⁻²
\bar{O}	průměrná oblačnost v desetínách

9.3.5 Chyby odvozených hodnot globálního záření

Pro určení přesnosti odhadnutých průměrných denních hodnot jsem použila statistické charakteristiky střední kvadratické chyby MSE (mean square error) a její odmocninu RMSE (Root mean square error).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(G_{\text{měř.}} - \bar{G}_{\text{odhad}})^2}{N_{\text{měř.}}}} \quad MSE = \frac{\sum(G_{\text{měř.}} - \bar{G}_{\text{odhad}})^2}{N_{\text{měř.}}} \quad (13,14)$$

9.4 Srovnání horských a nížinných lokalit

K tomuto zhodnocení jsem vybrala tzv. metodu součtových řad (Sládek, 1989). Období je vhodné vymezit od 21. 6. do 20.6 následujícího roku tak, aby se zvýraznilo období přes zimní půlrok. Postup metody spočívá v tom, že se pro každý den stanoví rozdíl délky slunečního svitu z horské a nížinné stanice. Pokud bude na horské stanici více slunečního svitu, vyjde kladná hodnota a naopak. Poté se tyto rozdíly kumulují za celé vymezené období, tedy od 21. 6. do 20.6 následujícího roku, čili za 365, popřípadě 366 dní v každém "roce".

Průběh křivky je ve všech letech relativně podobný. Vždy je možné zaznamenat určitý pokles na počátku období, než přijde lokální minimum, poté následuje vzrůst, lokální maximum a opět pokles. Na této křivce lze nalézt vždy největší rozdíl mezi dvěma členy součtové řady, jaký v této řadě existuje, za podmínky, že menší z obou členů (lokální minimum) přísluší dřívějšímu a větší člen (lokální maximum) pozdějšímu dnu. Období mezi lokálním minimem a maximem je hledané období s převahou slunečního svitu v horských oblastech proti nížinným oblastem. Někdy také může nastat situace, kdy se vyskytnou dva, či více lokálních minim a maxim s největší vzdáleností. V tomto případě je vhodné vždy vybrat hodnotu, která má nejpozdější datum. Je třeba zdůraznit, že vymezené extrémy nemusí být totožné s absolutním maximem a absolutním minimem. (Sládek, 1989) Křivka znázorňující součtovou řadu může mít podobu čáry víceméně v celém svém průběhu klesající, na níž nevýrazné epizody kladných hodnot tvoří jen nehluboké zářezy. Proto je nutné hovořit o lokálním minimu a maximu.

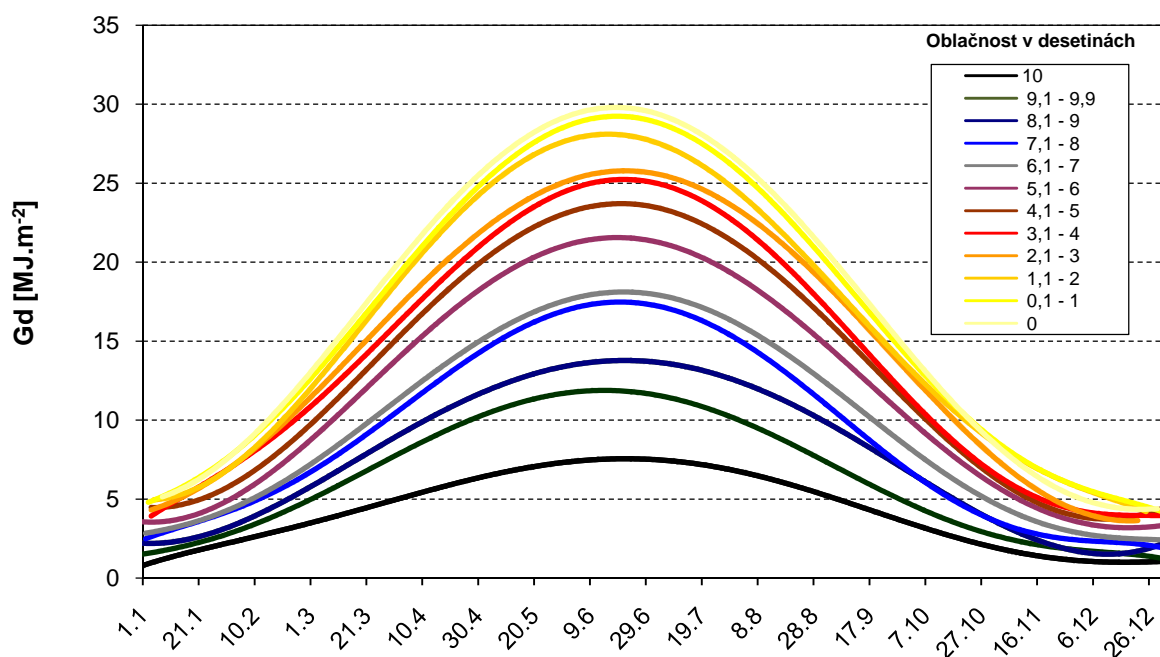
10 VÝSLEDKY

10.1 Základní charakteristiky globálního slunečního záření, délky slunečního svitu a oblačnosti v Hradci Králové

Tab. č. 7: Průměrné denní hodnoty globálního záření, slunečního svitu, relativního slunečního svitu, oblačnosti, průměrný počet jasných a zatažených dnů v HK za období 1999 - 2008

měsíc	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
O [desetiny]	7,67	7,13	6,62	5,51	5,03	5,47	5,75	5,11	5,46	6,24	7,67	7,68
G [MJ.m⁻²]	2,88	5,53	9,31	15,32	19,94	20,92	18,72	16,94	11,99	6,72	3,11	2,08
SSV [h]	1,97	2,95	4,11	6,59	8,34	8,39	7,54	7,75	5,84	3,86	1,84	1,52
R [%]	22,84	29,11	34,23	47,65	54,03	51,48	47,63	53,88	46,22	36,04	20,14	18,62
JASNÉ DNY	1,70	2,90	3,60	5,00	6,20	4,10	4,30	5,10	6,60	3,60	0,50	2,10
ZATAŽENÉ DNY	17,90	13,60	12,50	7,00	5,20	6,10	8,10	5,70	8,80	11,10	15,50	18,00

Graf č. 1: Průměrné (polynomická aproximace) denní hodnoty globálního záření v HK podle jednotlivých stupňů oblačnosti za období 1999 - 2008



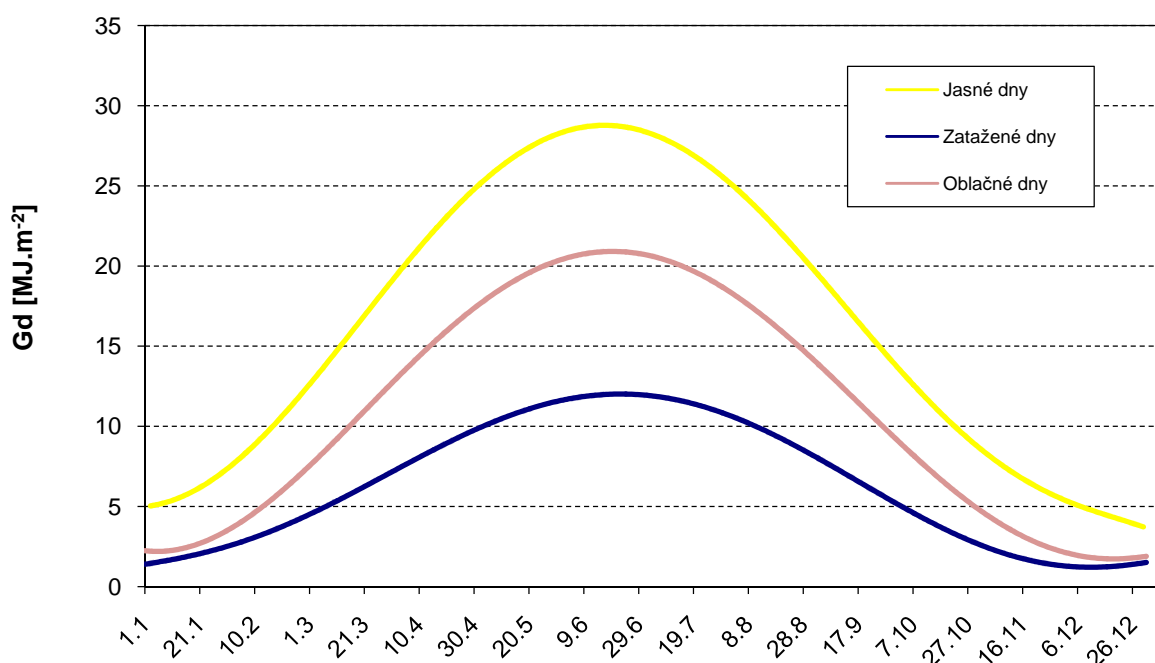
Do tabulky č. 7 jsem seřadila základní charakteristiky vybraných prvků v Hradci Králové za sledované období. Z těchto hodnot vycházejí další výpočty a charakteristiky.

Dále jsem se pokusila rozčlenit globální sluneční záření v průběhu roku podle jednotlivých stupňů oblačnosti tak, aby bylo možné zhruba odhadnout jaké množství globálního slunečního záření dopadá na zemský povrch v závislosti na čase a množství

oblačnosti. Hodnoty jsou polynomicky aproximovány, tak aby byl patrný jejich chod v průběhu roku (graf č. 1).

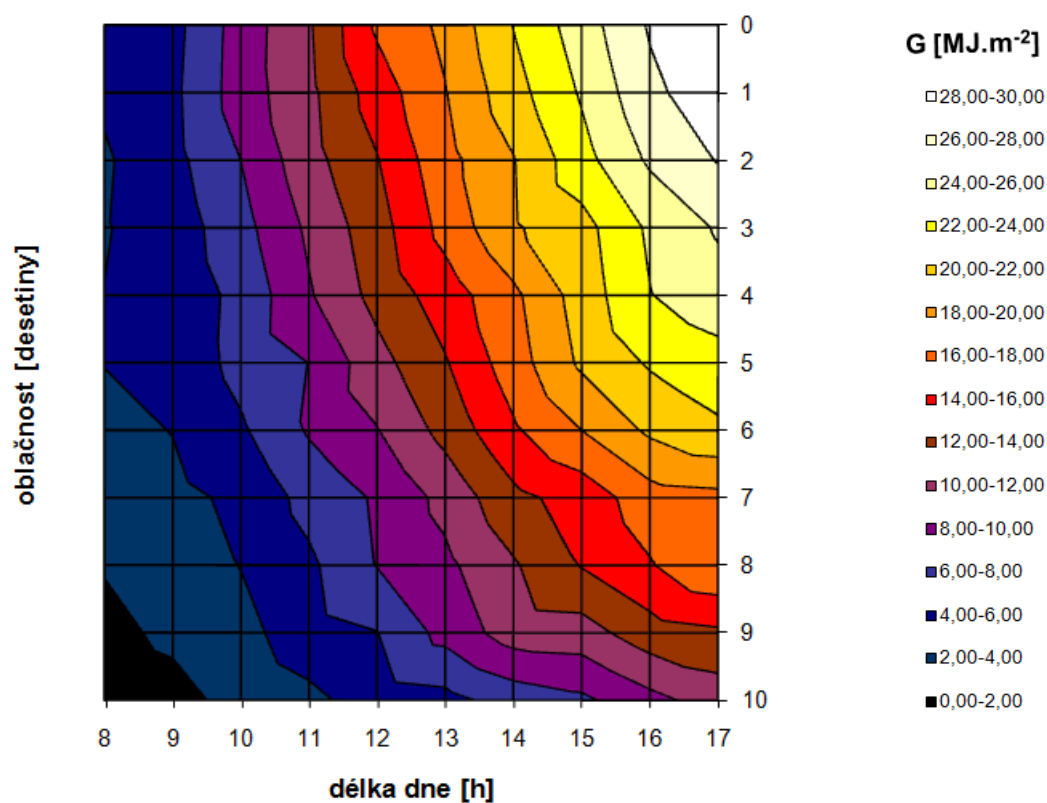
Protože odhadování oblačnosti je subjektivní a lze počítat s nepřesností těchto dat, použila jsem také hrubší dělení oblačnosti na jasné, zatažené a oblačné dny. Klimaticky jasné dny jsem definovala podle Proška a Reina (1982) jako dny, kdy oblačnost nedosahuje 2/10, dny s oblačností nad 8/10 jako dny zatažené. Oblačné dny jako průměr všech ostatních dní (graf č. 2).

Graf č. 2: Průměrné (polynomická aproximace) denní hodnoty globálního záření v HK za období 1999 - 2008

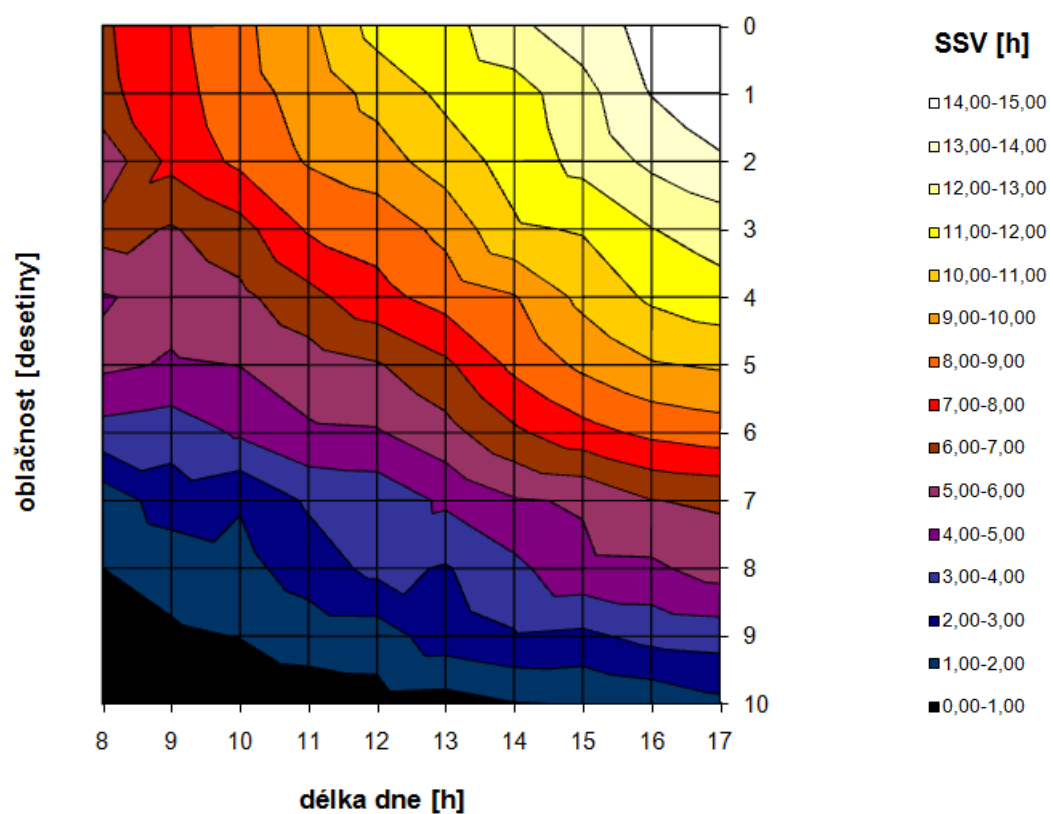


Zobrazila jsem také izoplety (graf č. 3) denních sum globálního slunečního záření v závislosti na délce dne a jednotlivých stupních oblačnosti. Pro porovnání jsem zobrazila i izoplety denních sum délky slunečního svitu (graf č. 4). Podle Noska (1972) je možné izoplety zkonstruovat v závislosti na dvou na sobě nezávislých veličinách, což v tomto případě nebylo splněno, protože oblačnost na délce dne závisí. Těsnost tohoto vztahu je ale velice slabá, proto jsem předpokládala, že je možné i přesto bez velké chyby izoplety zkonstruovat. Průměrné denní hodnoty globálního záření, délky slunečního svitu a jejich četnosti v závislosti na délce dne a oblačnosti jsou uvedeny v příloze č. 11 a 12.

Graf č. 3: Izoplety denních sum globálního záření v HK za období 1999 - 2008



Graf č. 4: Izoplety denních sum délky slunečního svitu v HK za období 1999 - 2008



10.2 Korelační vztah

Na snížení sum globálního slunečního záření má v první řadě oblačnost, která zeslabuje přímé sluneční záření. Z tabulky č. 8 můžeme vidět, že globální záření poměrně úzce souvisí s oblačností, protože oblačnost je nepřímo úměrná slunečnímu svitu a tím i přímému slunečnímu záření, které je podstatnou složkou globálního záření (Petrovič, 1960).

Tab. č. 8: Korelační koeficienty mezi denními sumami globálního záření a oblačností v HK za období 1999 - 2008

měsíc	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
r_{Go}	-0,79	-0,78	-0,86	-0,81	-0,84	-0,85	-0,87	-0,81	-0,86	-0,85	-0,80	-0,82

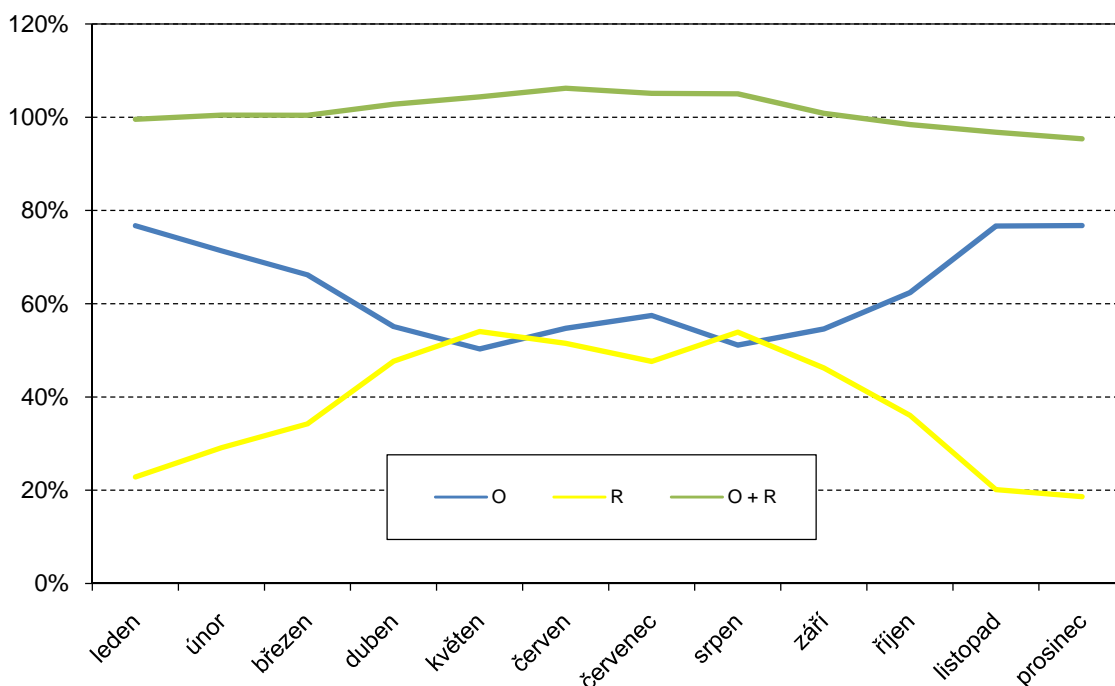
Tab. č. 9: Korelační koeficienty mezi denními sumami slunečního svitu a oblačností v HK za období 1999 - 2008

měsíc	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
r_{so}	-0,89	-0,90	-0,91	-0,88	-0,87	-0,90	-0,92	-0,87	-0,92	-0,91	-0,82	-0,87

Korelační koeficienty ve všech měsících poukazují na vysoký stupeň těsnosti mezi slunečním svitem a oblačností (tab. č. 9). Oba jmenované prvky na sobě úzce závisí, a proto je výhodné zpracovávat je současně. Mezi oblačností a slunečním svitem existuje vztah, který můžeme vyjádřit tak, že $O + R \approx 100$, kde O je oblačnost v procentech a R je doba slunečního svitu vyjádřená v procentech astronomicky možné doby (Nosek, 1972). V tabulce č. 10 jsou uvedeny tyto charakteristiky pro Hradec Králové. Je zřejmé, že tento vztah platí pouze přibližně a že ho lze použít pouze pro měsíční hodnoty. Pro denní hodnoty ho nelze použít. Pomocí tohoto vztahu můžeme doplňovat chybějící údaje oblačnosti nebo slunečního svitu, známe-li měsíční hodnoty druhého prvku (Nosek, 1972).

V grafu č. 5 je zachycený roční chod relativního slunečního svitu a oblačnosti v %. Z grafu je vidět protichůdná tendence slunečního svitu a oblačnosti v průběhu roku. Je zde také zachycen procentuální součet oblačnosti a relativního slunečního svitu v průběhu roku. Vysoké hodnoty přes letní půlrok pravděpodobně charakterizují přeceňování oblačnosti v tomto období (Petrovič, 1960).

Graf č. 5: Roční chod průměrné oblačnosti, relativního slunečního svitu a jejich součtu v HK za období 1999 - 2008



Tab. č. 10: Roční chod průměrné oblačnosti, relativního slunečního svitu a jejich součtu v HK za období 1999 - 2008

měsíc	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
O[%]	76,70	71,32	66,18	55,11	50,32	54,73	57,49	51,13	54,60	62,37	76,66	76,75
R[%]	22,84	29,11	34,23	47,65	54,03	51,48	47,63	53,88	46,22	36,04	20,14	18,62
součet	99,55	100,43	100,41	102,76	104,35	106,21	105,12	105,01	100,83	98,41	96,79	95,37

Tab. č. 11: Korelační koeficienty mezi denními sumami globálního záření a slunečního svitu v HK za období 1999 - 2008

měsíc	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
r_{Gs}	0,89	0,91	0,95	0,96	0,95	0,95	0,96	0,92	0,95	0,92	0,91	0,90

Z korelačních koeficientů mezi globálním zářením a slunečním svitem vyplývá (tab. č. 11), že se jedná o těsný nebo velmi těsný vztah (graf č. 6). Nižší hodnoty koeficientů vykazují zimní měsíce, tedy období s minimální výškou slunce nad obzorem. Vyplývá z toho tedy, že lze nalézt vztah, kterým by bylo možné odvodit hodnoty globálního záření z hodnot slunečního svitu, popřípadě oblačnosti, kde je ovšem těsnost vztahu nižší.

Graf č. 6: Průměrné denní hodnoty globálního záření a sluneč.svitu v průběhu roku v HK za období 1999 - 2008

10.3 Vztah povětrnostních situací s globálním slunečním zářením, slunečním svitem a oblačností

Tab. č. 12: Průměrné denní úhrny slunečního svitu v hodinách, globálního záření v MJ.m^{-2} , průměrné oblačnosti v desetínách v závislosti na jednotlivých povětrnostních situacích v HK za období 1999 - 2008

Povětrnostní situace	SSV	Oblačnost	Globální zření
Ap4	11,00	1,77	18,96
Wal	9,73	4,41	21,81
NEa	9,11	3,16	16,68
Ap1	9,02	3,58	17,59
A	8,51	3,34	15,35
Ap3	8,39	4,14	16,25
Ea	8,04	3,21	13,36
Ap2	7,73	4,44	15,26
SEa	7,63	3,76	12,94
Sa	7,52	3,73	13,79
NWa	6,29	5,70	13,03
SWa	6,11	4,67	9,75
SWc1	5,81	6,33	13,13
Wa	5,28	5,47	9,50

Povětrnostní situace	SSV	Oblačnost	Globální zření
SWc2	5,26	6,53	12,26
SWc3	4,85	6,93	12,46
Vfz	3,96	7,29	10,23
SEc	3,96	7,37	10,18
Ec	3,88	7,28	10,36
Bp	3,53	7,44	8,91
Nc	3,36	7,00	7,65
NEc	3,36	7,64	9,18
B	3,11	7,79	9,16
Wcs	2,97	7,85	8,43
C	2,72	8,16	8,74
Cv	2,70	8,35	8,95
Wc	2,57	7,93	6,73
NWc	2,33	8,20	6,28

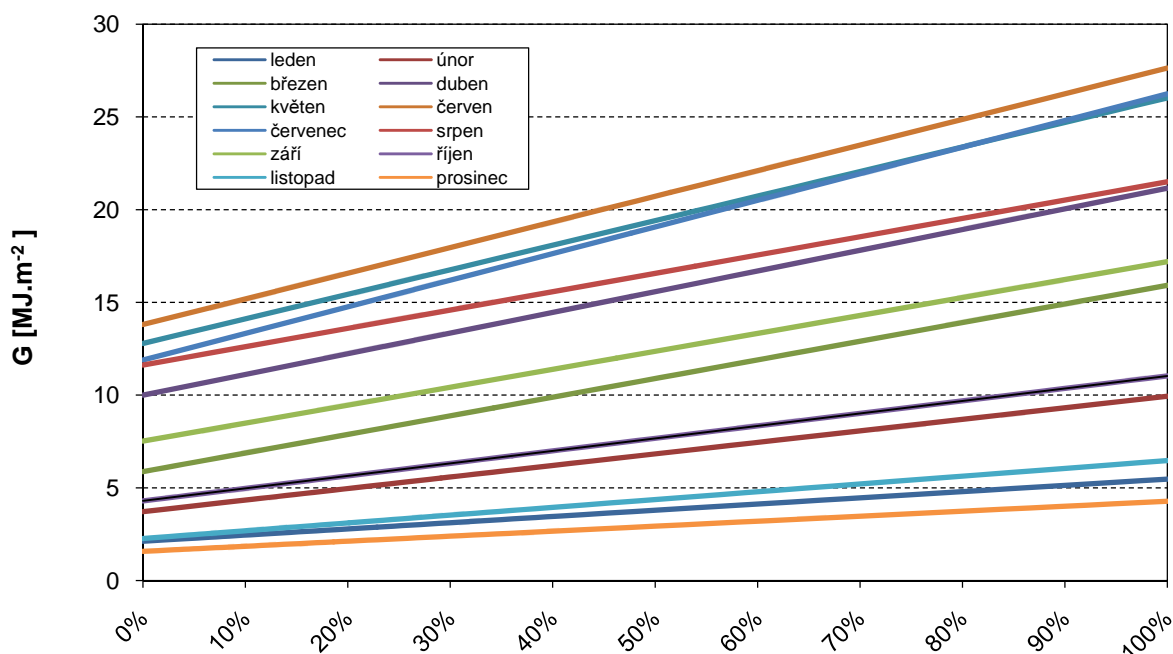
Typizace povětrnostních situací do značné míry umožňuje statisticky vyhodnotit výskyt charakteristických stavů atmosféry ve zvolené oblasti včetně cirkulačních podmínek a podmínek pro výskyt oblačnosti. Uvedené přehledy jsem použila k vyhodnocení výskytu jednotlivých situací za období 1999 - 2008 a jim příslušných průměrných denních úhrnů slunečního svitu, dále jsem přiřadila denní úhrny globálního záření a průměrné oblačnosti v desetinách. Jednotlivé situace spolu s hodnotami oblačnosti a globálního záření jsou seřazeny podle bohatosti na sluneční svit. Z tabulky č. 12 je zřejmé, že nejvíce slunečního svitu, stejně tak globálního záření mají situace anticyklonálního charakteru, naopak nejméně situace cyklonální.

10.4 Odvození globálního záření

10.4.1 Původní Angströmov vztah

Pro vyjádření odvozené průměrné denní sumy globálního záření podle původního Angströмова vztahu jsem odvodila nejdříve konstanty α' pro jednotlivé měsíce (graf č. 7).

Graf č. 7: Globální záření jako funkce relativního slunečního svitu v HK za období 1999 - 2008



Z tabulky č. 13 je vidět, že hodnoty α' vykazují určitý roční chod. Nejvyšší hodnoty vykazuje α' přes letní období. Rozdílnost hodnot α' v jednotlivých měsících je pravděpodobně vyvolána množstvím a druhem vyskytujících se oblaků, které ovlivňují průměr globálního slunečního záření v jasných dnech (Petrovič, 1960).

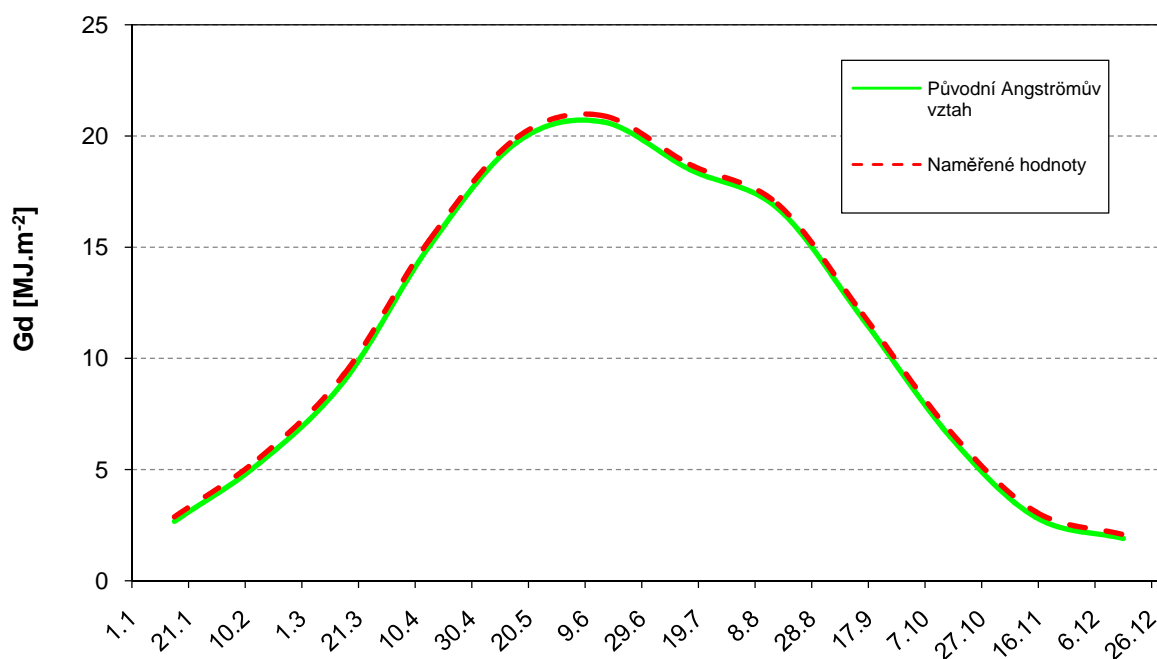
Tab. č. 13: Roční chod konstanty α' v HK za období 1999 - 2008

měsíc	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
α'	0,39	0,37	0,37	0,47	0,49	0,50	0,45	0,54	0,44	0,39	0,35	0,37

Abych zjistila, jak vypočítané hodnoty globálního záření odpovídají hodnotám naměřeným, určila jsem odchylky vypočítaných hodnot od naměřených a tyto odchylky vyjádřila v procentech naměřených hodnot pro jednotlivé měsíce (průměr za 10 let). Výsledky porovnání ukázaly, že vypočítané průměrné denní sumy se od naměřených lišily v průběhu roku rozdílně. Nejmenší rozdíly jsou přes letní půlrok, kdy rozdíly nepřesahují 2%. Přes zimní půlrok jsou odchylky výraznější, v prosinci přesahují 8%. RMSE se u této metody pohybuje v rozmezí 0,28 až 2,56 MJ.m⁻². Roční průměr je 1,33 MJ.m⁻².

Tab. č. 14: Roční chod odvozených a skutečně naměřených průměrných denních sum globálního záření v roce v MJ.m⁻² v HK za období 1999 - 2008

měsíc	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
$G_{d\text{ měř}}$	2,88	5,53	9,31	15,32	19,94	20,92	18,72	16,94	11,99	6,72	3,11	2,08
$G_{d\text{ odhad}}$	2,67	5,28	9,00	15,04	19,72	20,64	18,50	16,75	11,79	6,47	2,87	1,90
odchylka v %	-7,08	-4,35	-3,29	-1,79	-1,09	-1,33	-1,21	-1,15	-1,71	-3,79	-7,85	-8,38

Graf č. 8: Průběh odvozených a skutečně naměřených průměrných denních sum globálního záření v roce v HK za období 1999 - 2008

10.4.2 Angström - Prescottův vztah

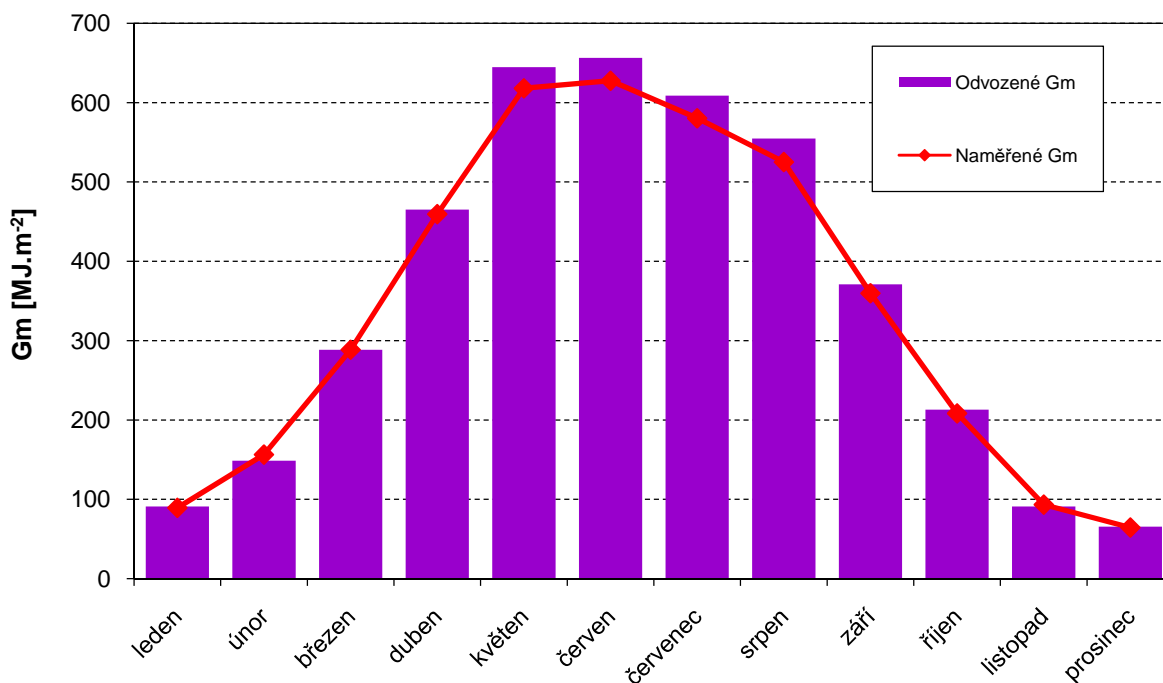
Průměrné měsíční sumy globálního slunečního záření

Pomocí naměřených hodnot \bar{G}_m , které jsem měla k dispozici z Hradce Králové za období 1999 - 2008 jsem provedla porovnání s hodnotami vypočítanými z uvedeného vztahu (10) při použití s_{om} , G_{om} a, b z tabulek č. 4 - 6. Toto ověření obsahuje tabulka č. 15 a graf č. 9.

Tab. č. 15: Roční chod odvozených a skutečně naměřených průměrných měsíčních sum globálního záření v roce v MJ.m⁻², průměrných měsíčních sum slunečního svitu v hodinách v HK za období 1999 - 2008

měsíc	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
G_m měř	89,24	156,37	288,54	459,47	618,13	627,62	580,40	525,21	359,78	208,36	93,31	64,42
SSV_m	61,16	83,47	127,32	197,72	258,47	251,76	233,85	240,21	175,24	119,73	55,23	47,06
G_m odhad	91,06	148,72	288,49	465,13	644,82	656,40	608,79	554,79	371,00	213,01	90,89	65,60
odchylka v %	2,04	-4,90	-0,02	1,23	4,32	4,59	4,89	5,63	3,12	2,23	-2,59	1,83

Graf č. 9: Průběh odvozených a skutečně naměřených průměrných měsíčních sum globálního záření v roce v HK za období 1999 - 2008



Průměrné denní sumy globálního slunečního záření

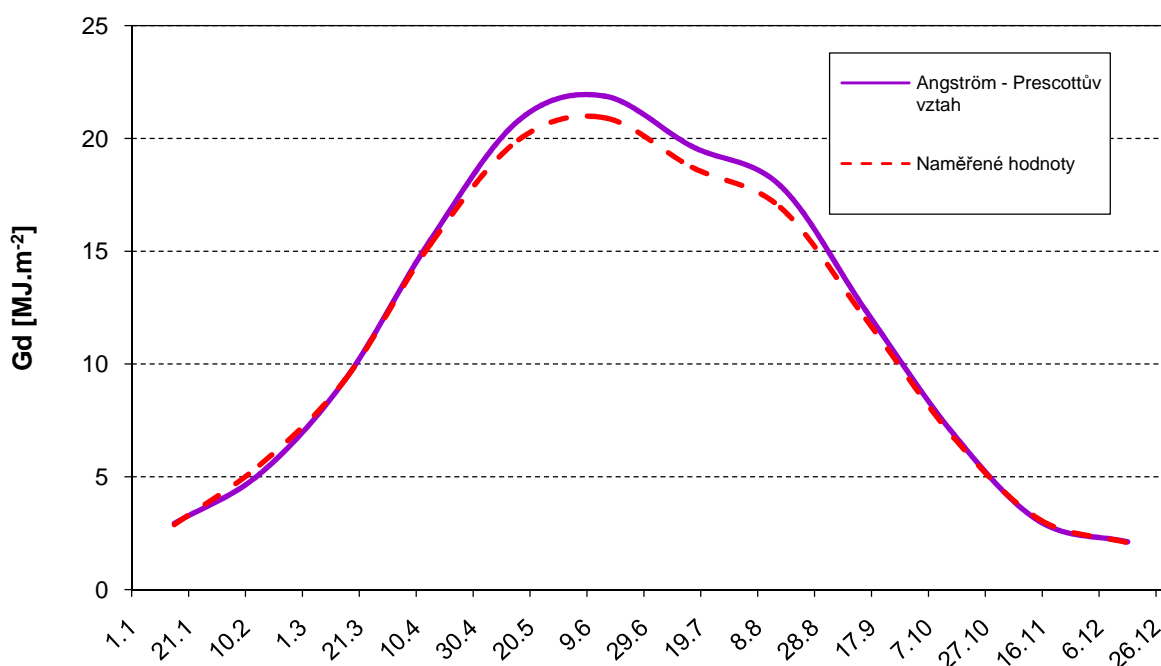
Pro tuto metodu jsem opět určila odchylky vypočítaných hodnot od naměřených a tyto odchylky vyjádřila v procentech naměřených hodnot pro jednotlivé měsíce (průměr za 10 let).

Výsledky porovnání ukázaly, že vypočítané průměrné sumy \bar{G}_d se od naměřených lišily v naprosté většině případů méně než o 4%. Rozdíly odchylek jsou na rozdíl od předchozího původního Angströмова vztahu méně rozkolísané v průběhu roku. RMSE se u této metody pohybuje v rozmezí 0,23 až 2,71 MJ.m⁻². Roční průměr je 1,38 MJ.m⁻².

Tab. č. 16: Roční chod odvozených a skutečně naměřených průměrných denních sum globálního záření v roce v MJ.m⁻² v HK za období 1999 - 2008

měsíc	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
G_m odhad	91,06	148,72	288,49	465,13	644,82	656,40	608,79	554,79	371,00	213,01	90,89	65,60
G_d odhad - středový den	2,94	5,13	9,31	15,50	20,80	21,88	19,64	17,90	12,37	6,87	3,03	2,12
G_d měř.	2,88	5,53	9,31	15,32	19,94	20,92	18,72	16,94	11,99	6,72	3,11	2,08
odchylka v %	2,04	-4,90	-0,02	1,23	4,32	4,59	4,89	5,63	3,12	2,23	-2,59	1,83

Graf č. 10: Průběh odvozených a skutečně naměřených průměrných denních sum globálního záření v roce v HK za období 1999 - 2008



10.4.3 Blackův vztah

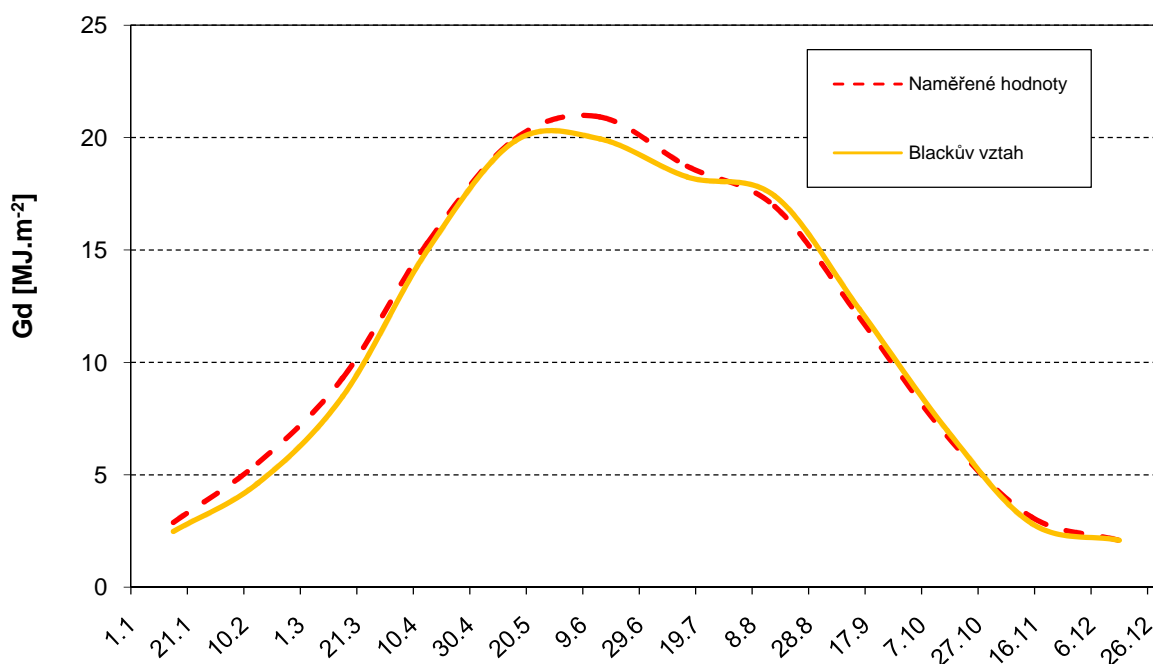
Odchyly vypočítaných hodnot od naměřených se v této metodě ukázaly jako největší. Vypočítané průměrné sumy \bar{G}_d se od naměřených lišily v některých měsících o více než 8%, v únoru dokonce o více než 16%. RMSE se u této metody pohybuje v rozmezí 0,22 až 2,60 MJ.m⁻². Roční průměr je 1,40 MJ.m⁻². Jako nedostatek této metody vidím neproměnlivost konstant v závislosti na zeměpisné šířce a nadmořské výšce. Pro hrubý odhad globálního

záření zejména v letním půlroku může tato metoda však sloužit, zejména pokud jsou k dispozici pouze data o oblačnosti.

Tab. č. 17: Roční chod odvozených a skutečně naměřených průměrných denních sum globálního záření v roce v MJ.m⁻², průměrná denní oblačnost v desetínách a denní sumy G_{od} v MJ.m⁻² v HK za období 1999 - 2008

měsíc	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
G_{od}	9,10	14,14	22,48	31,47	38,45	41,57	40,00	34,16	25,70	16,90	10,37	7,68
O_d	7,67	7,13	6,62	5,51	5,03	5,47	5,75	5,11	5,46	6,24	7,67	7,68
G_d odhad - středový den	2,48	4,63	8,49	14,99	19,84	19,94	18,25	17,40	12,36	6,98	2,83	2,09
G_d měř.	2,88	5,53	9,31	15,32	19,94	20,92	18,72	16,94	11,99	6,72	3,11	2,08
odchylka v %	-13,81	-16,20	-8,83	-2,10	-0,50	-4,68	-2,54	2,72	3,03	3,81	-8,93	0,57

Graf č. 11: Průběh odvozených a skutečně naměřených průměrných denních sum globálního záření v roce v HK za období 1999 - 2008

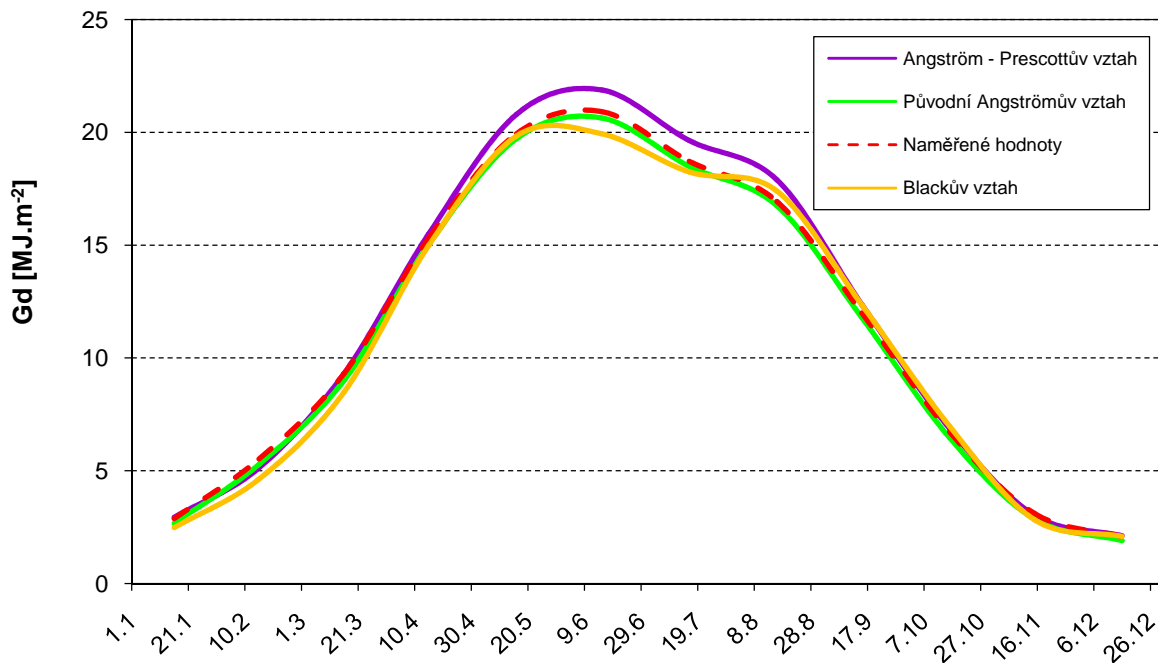


10.4.4 Porovnání použitých metod

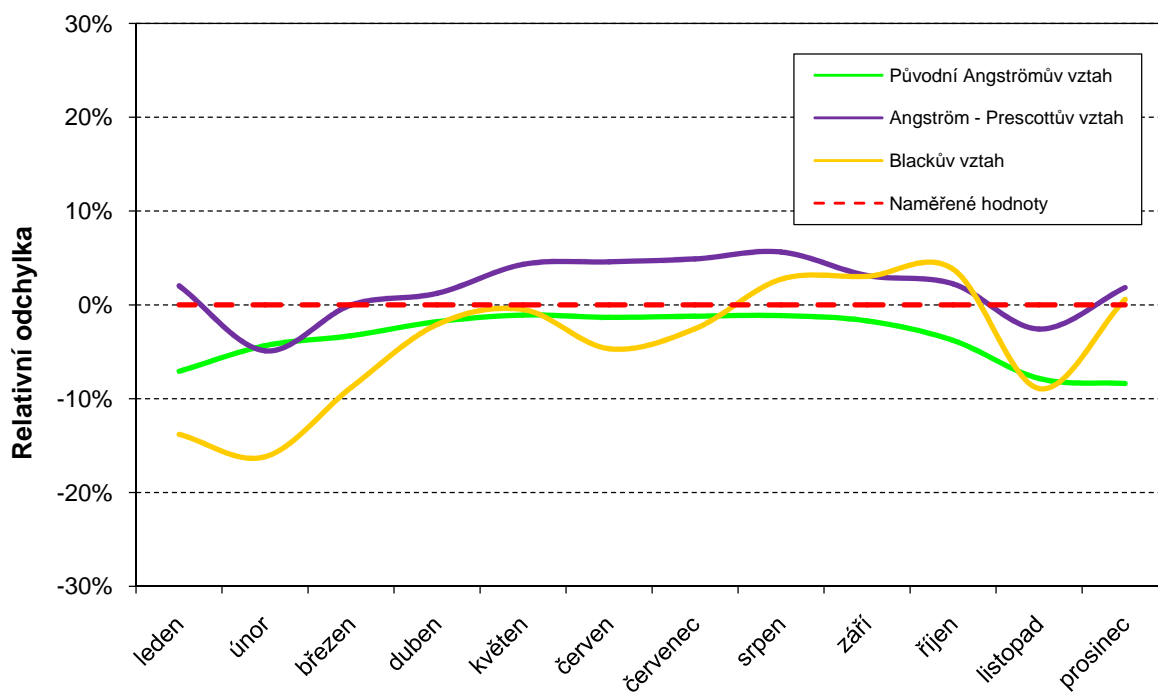
Na závěr této kapitoly jsem uvedla všechny zmiňované metody do jednoho grafu č. 12 a porovnávala je s reálně naměřenými daty. Zejména u malých hodnot globálního záření tento rozdíl absolutních hodnot jednotlivých metod není výrazně zřetelný, proto jsem uvedla ještě tabulku č. 18 a graf č. 13 relativních odchylek odvozených hodnot globálního záření od naměřených. Jako nejvíce rozkolísaný a s největšími relativními odchylkami v průběhu roku se ukázal Blackův vztah, který vychází z hodnot o oblačnosti. Vyjma měsíců únor

a listopad vykazuje Angström - Prescottův vztah nejpřesnější hodnoty převážně v zimním období. V letním období nejnížší relativní odchylky dosahuje naopak původní Angströmovův vztah, který využívá hodnoty slunečního svitu i oblačnosti.

Graf č. 12: Průběh odvozených a skutečně naměřených průměrných denních sum globálního záření v roce v HK za období 1999 - 2008



Graf č. 13: Průběh relativních odchylek odvozených od naměřených průměrných denních sum globálního záření v roce v HK za období 1999 - 2008



Tab. č. 18: Průběh relativních odchylek v % odvozených průměrných denních sum globálního záření za jednotlivé měsíce vůči naměřeným v HK za období 1999 - 2008

měsíc	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
Původní Angströmvův vztah	-7,08	-4,35	-3,29	-1,79	-1,09	-1,33	-1,21	-1,15	-1,71	-3,79	-7,85	-8,38
Angström - Prescottův vztah	2,04	-4,90	-0,02	1,23	4,32	4,59	4,89	5,63	3,12	2,23	-2,59	1,83
Blackův vztah	-13,81	-16,20	-8,83	-2,10	-0,50	-4,68	-2,54	2,72	3,03	3,81	-8,93	0,57

10.5 Srovnání horských a nížinných lokalit

10.5.1 Klimatická charakteristika stanice Labská bouda a Praha - Libuš

Tab. č. 19: Charakteristika klimatických jednotek CH4 a T2

Parametr	CH4	T2
Počet letních dní	0 - 20	50 - 60
Počet dní s průměr. teplotou 10°C a více	80 - 120	160 - 170
Počet dní s mrazem	160 - 180	100 - 110
Počet ledových dní	60 - 70	30 - 40
Průměrná lednová teplota [°C]	-7 - (-6)	-2 - (-3)
Průměrná červencová teplota [°C]	12 - 14	18 - 19
Průměrná dubnová teplota [°C]	2 - 4	8 - 9
Průměrná říjnová teplota [°C]	4 - 5	7 - 9
Průměr. počet dní se srážkami 1 mm a více	120 - 140	90 - 100
Suma srážek ve vegetačním období [mm]	600 - 700	350 - 400
Suma srážek v zimním období [mm]	400 - 500	200 - 300
Počet dní se sněhovou pokrývkou	140 - 160	40 - 50
Počet zamračených dní	130 - 150	120 - 140
Počet jasných dní	30 - 40	40 - 50

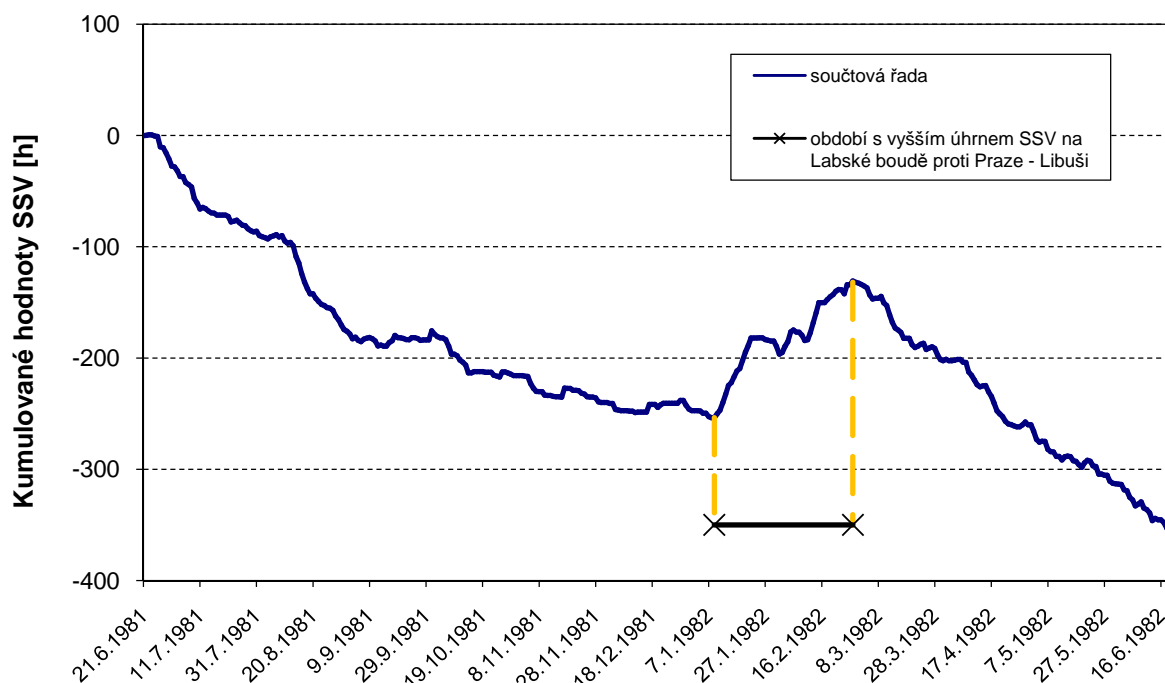
Zdroj: Quitt (1971)

Z hlediska klimatu leží Labská bouda v nejchladnější klimatické oblasti - CH4 (Quitt, 1971). Pro ni je typické velmi chladné a vlhké léto, zima je velmi dlouhá, chladná a vlhká s velmi dlouhým trváním sněhové pokrývky. Praha - Libuš se nalézá v příhodné klimatické oblasti - T2, která je podle Quitta (1971) charakterizována jako teplá, mírně suchá s mírnou zimou. Stručná charakteristika jednotlivých parametrů se nachází v tabulce č. 19.

10.5.2 Období s převahou slunečního svitu v Krkonoších

V této kapitole jsem vymezila období, kdy v Krkonoších převládají dny s vyšším úhrnem délky slunečního svitu proti Praze. Využila jsem k tomu denních úhrnů délky slunečního svitu na stanicích Labská bouda a Praha - Libuš. Z těchto stanic jsem neměla k dispozici úplná data, pouze 18 kompletních let a dále tři roky, v kterých chyběly data přes letní období, což ale vzhledem k použití této metody nevadilo. Řada v tomto případě začíná pozdějším datem nebo naopak končí dříve. Podle Sládka (1989) tento nedostatek chybějících dat není podstatný, protože na konečný výsledek nemá vliv.

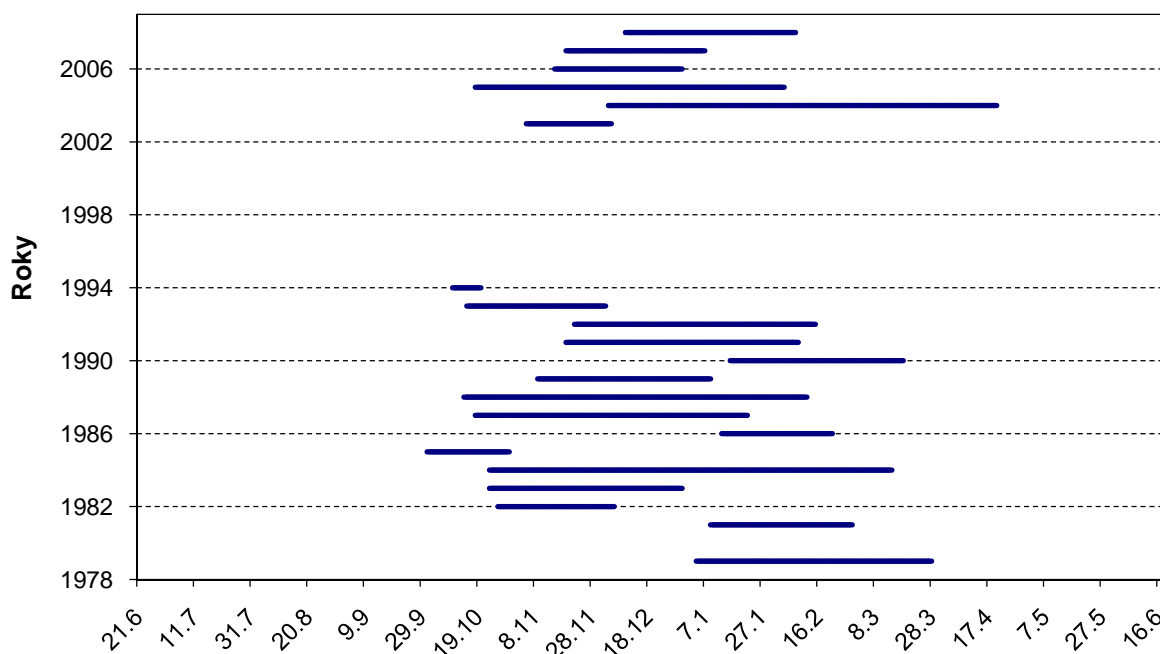
Graf č. 14: Příklad charakteristiky období s převahou slunečního svitu v Krkonoších proti Praze v roce 1981 - 1982



Metodu součtových řad (Sládek, 1989) jsem použila pro každý "rok" za období od 21.6. do 20.6. následujícího roku a sestavila tak 21 kompletních součtových řad. Získala jsem tedy 21 dat začátků, konců a délek trvání tohoto období mezi lokálním minimem a maximem, což je právě mnou hledané období s převahou slunečního svitu v Krkonoších oproti Praze a stanovila jejich statistické charakteristiky - průměr, medián, směrodatná odchylka, maximum, minimum (graf č. 15, tab. č. 20).

Tab. č. 20: Charakteristika období s převahou slunečního svitu v Krkonoších proti Praze za vybrané roky

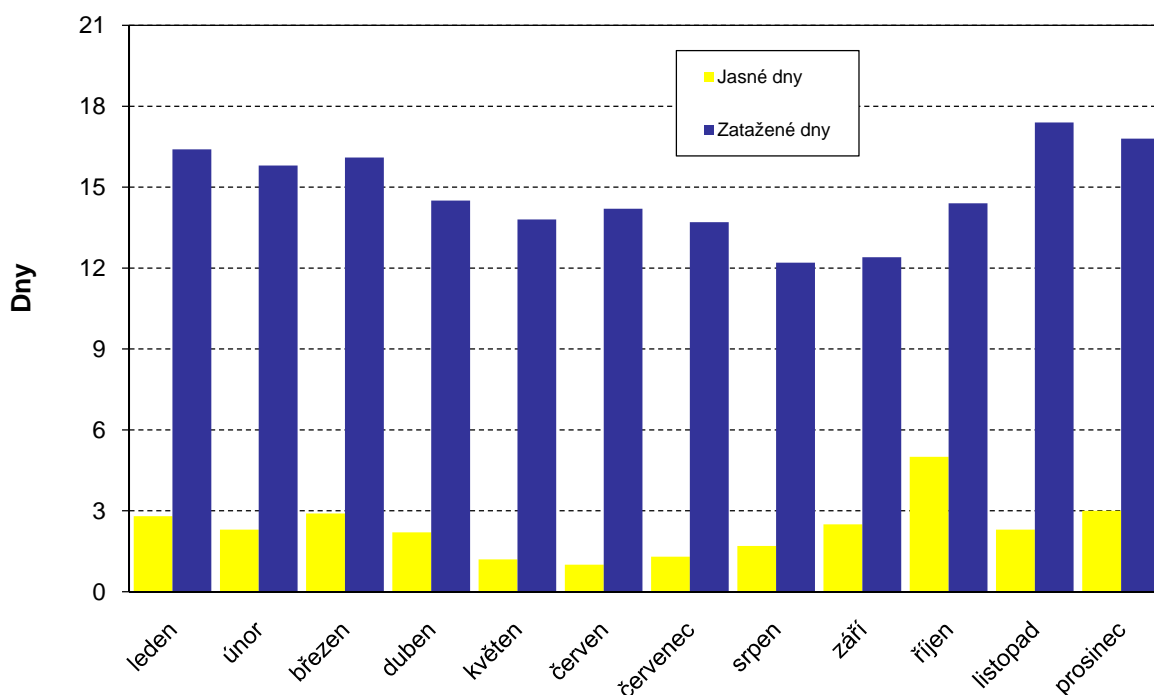
roky	délka období	od	do	roky	délka období	od	do
1979/80	84	4.1.80	28.3.80	1993/94	49	15.10.93	3.12.93
1981/82	50	9.1.82	28.2.82	1994/95	10	10.10.94	20.10.94
1982/83	41	26.10.82	6.12.82	2003/04	30	5.11.03	5.12.03
1983/84	68	23.10.83	30.12.83	2004/05	137	4.12.04	20.4.05
1984/85	142	23.10.84	14.3.85	2005/06	109	18.10.05	4.2.06
1985/86	29	1.10.85	30.10.85	2006/07	45	15.11.06	30.12.06
1986/87	39	13.1.87	21.2.87	2007/08	49	19.11.07	7.1.08
1987/88	96	18.10.87	22.1.88	2008/09	60	10.12.08	8.2.09
1988/89	121	14.10.88	12.2.89	PRŮMĚR	69	15.11	23.1
1989/90	61	9.11.89	9.1.90	MEDIÁN	61	9.11	4.2
1990/91	61	16.1.91	18.3.91	SM. ODCH.	35	33	47
1991/92	82	19.11.91	9.2.92	MINIMUM	10	1.10	20.10
1992/93	85	22.11.92	15.2.93	MAXIMUM	142	16.1	20.4

Graf č. 15: Charakteristika období s převahou slunečního svitu v Krkonoších proti Praze za vybrané roky

Tento jev je možné vysvětlit především podzimními a zejména zimními anticyklonálními situacemi s teplotní inverzí, jak jsem již podrobněji popsala v bakalářské práci (Schováňková, 2007). Horská místa v Krkonoších s nadmořskou výškou 800 m n. m. a více leží často nad horní hranicí nízké oblačnosti (Fanta, 1969), je zde relativně velmi

dlouhá doba slunečního svitu, teplé a jasné počasí s dohledností přes 50 km proti zamračenému, drsnému a sychravému počasí nížin, často provázeným vrstevnatou oblačností a mlhami. Přitom díky odrazu od souvislé sněhové pokrývky a od horní hranice nízkých mraků navíc vzrůstá v těchto místech intenzita ultrafialového záření na několikanásobek hodnot naměřených za jasného počasí v nížině. Tomu odpovídají i vyšší dlouhodobé průměry denní teploty vzduchu a vyšší četnosti jasných dnů v zimě ve vyšších polohách, jak je uvedeno v grafu č. 16.

Graf č. 16: Průměrný měsíční počet dní zamračených a jasných na Sněžce za období 1951 - 1975

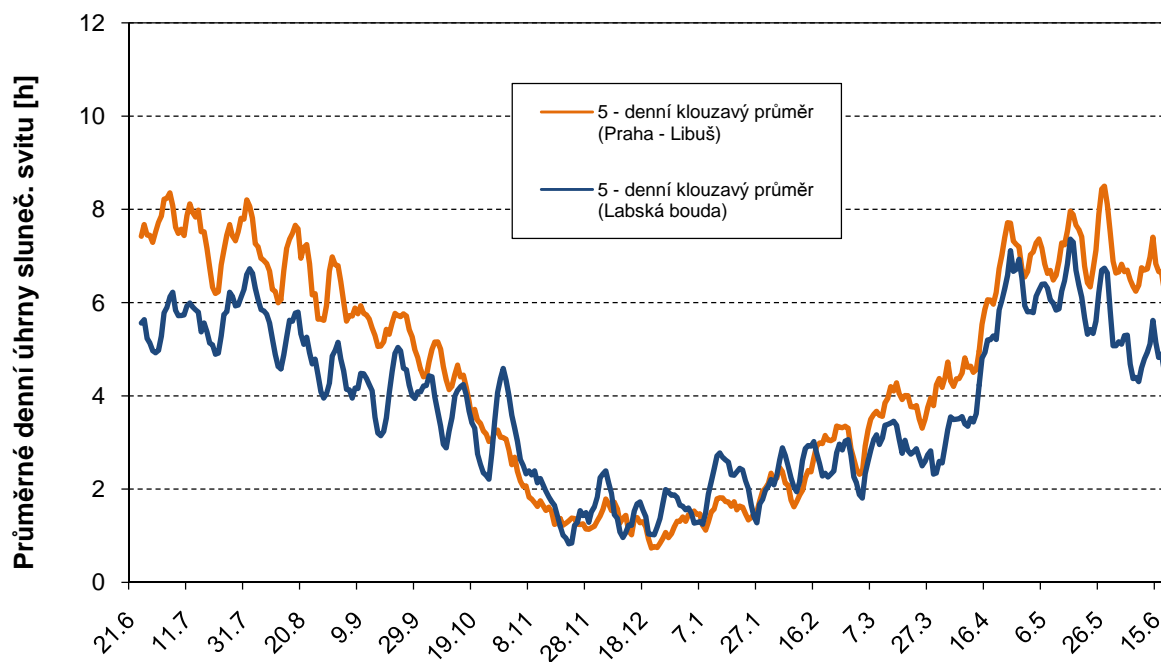


Zdroj: Holdys, Kwiatkowski (1985)

Denní úhrn délky slunečního svitu

Průměrné denní úhrny slunečního svitu v grafu č. 17 také vymezují období, kdy zhruba od začátku listopadu do půlky února je vyšší úhrn slunečního svitu na Labské boudě než v Praze - Libuši. Je možné relativně přesněji vymezit jednotlivá menší období vyššího úhrnu na Labské boudě. Ovšem tato období jsou spíše orientační a vzhledem k pouhé 18 - leté kompletní řadě pozorování se může jednat i o náhodu.

Graf č. 17: Průměrné denní úhrny slunečního svitu v Praze - Libuši a na Labské boudě za období 1979 - 1980, 1981 - 1989; 1991 - 1995; 2004 - 2009



Obr. č. 8: Inverze v Krkonoších

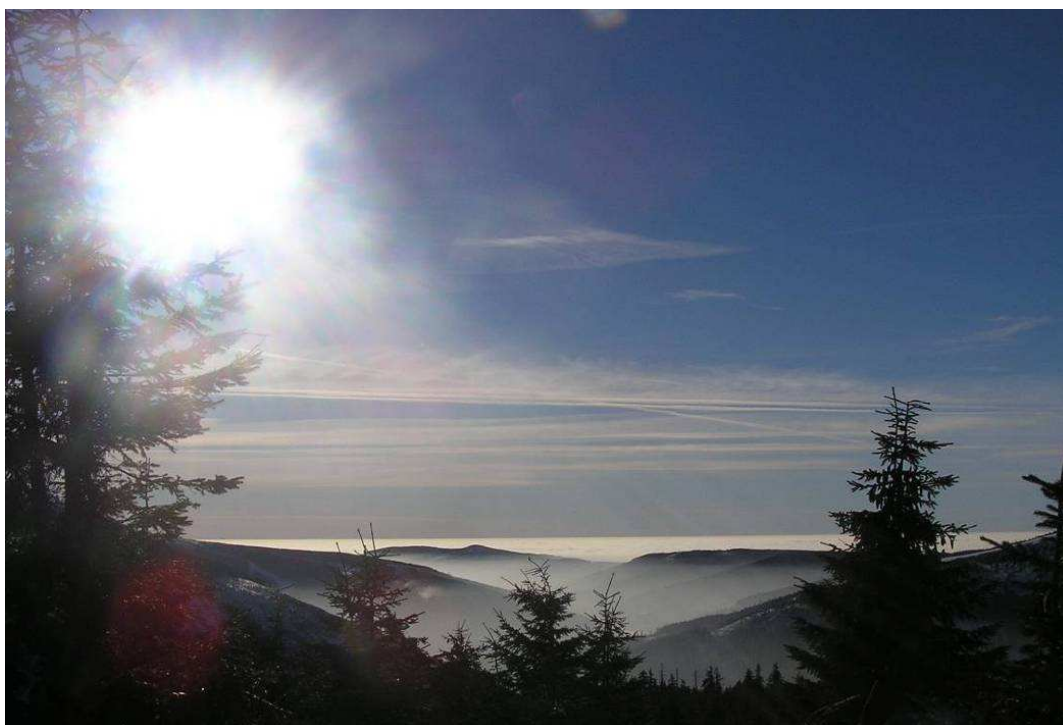


Foto: Schováňková (2007)

10.5.3 Odvození globálního záření na Labské boudě a v Praze - Libuši

Z obr. č. 1 je vidět, že na stanici Labská bouda a Praha - Libuš probíhá měření globálního slunečního záření. Toto měření je však poměrně krátké (Labská bouda od roku 2006, Praha - Libuš od roku 2003) a nestačí tak k obecné charakteristice ročního chodu globálního záření na těchto stanicích. Vzhledem k tomu, že jsem měla z obou stanic k dispozici 18 - letou kompletní řadu denních sum délky slunečního svitu, využila jsem je k odvození globálního slunečního záření v oblastech, které zastupují i jiné geografické a klimatické podmínky. Protože jsem měla k dispozici pouze denní hodnoty slunečního svitu, využila jsem k tomu Angström - Prescottova vztahu.

Labská bouda

Tab. č. 21: Roční chod odvozených a skutečně naměřených průměrných měsíčních a denních sum globálního záření v roce v MJ.m⁻² a průměrných měsíčních sum slunečního svitu v hodinách na Labské boudě za období 1979, 1981 - 1988; 1991 - 1994; 2005 - 2009

měsíc	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
SSV_m	61,00	73,84	86,31	149,52	187,77	149,66	180,55	160,43	124,51	111,52	53,35	49,62
G_m odhad	108,98	168,59	284,96	439,67	528,32	518,83	540,40	449,73	324,20	224,27	101,81	84,70
G_d odhad - středový den	3,52	5,81	9,19	14,66	17,04	17,29	17,43	14,51	10,81	7,23	3,39	2,73

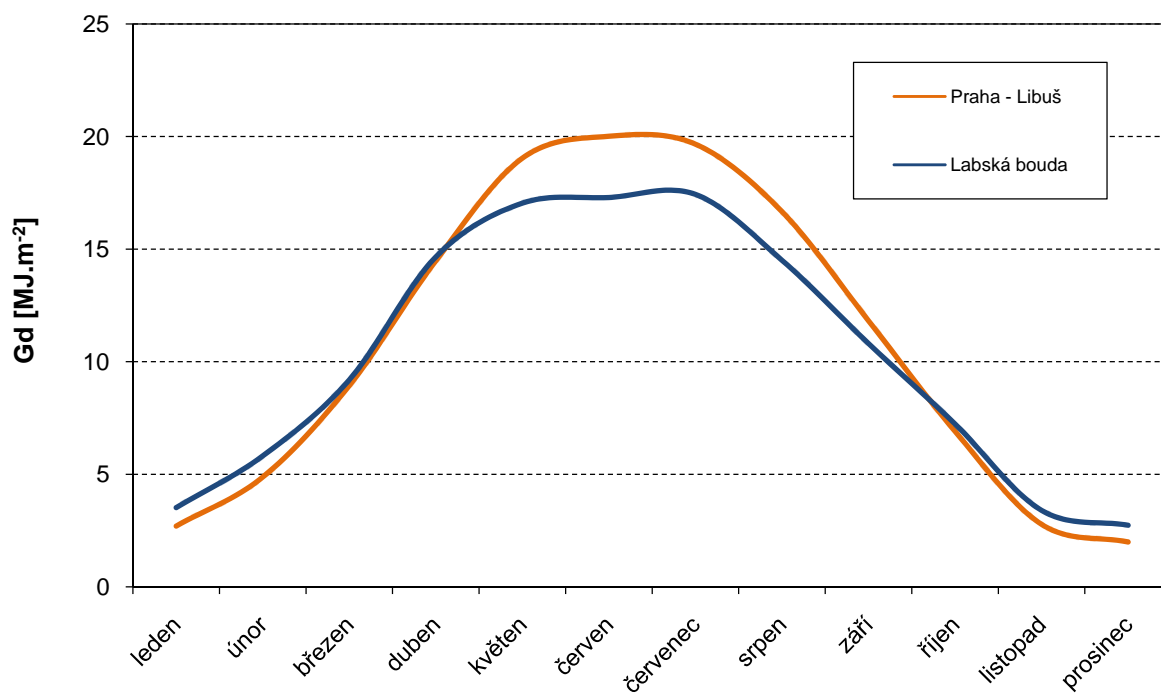
Praha - Libuš

Tab. č. 22: Roční chod odvozených a skutečně naměřených průměrných měsíčních a denních sum globálního záření v roce v MJ.m⁻² a průměrných měsíčních sum slunečního svitu v hodinách v Praze - Libuši za období 1979, 1981 - 1988; 1991 - 1994; 2005 - 2009

měsíc	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
SSV_m	50,64	74,25	116,06	174,14	223,79	209,34	234,53	209,84	163,72	120,90	45,74	39,06
G_m odhad	83,64	141,35	277,16	434,42	590,30	600,43	609,63	516,79	354,72	214,22	83,29	61,73
G_d odhad - středový den	2,70	4,87	8,94	14,48	19,04	20,01	19,67	16,67	11,82	6,91	2,78	1,99

Pro přehlednost jsem hodnoty odvozených průměrných denních sum globálního slunečního záření z obou stanic zobrazila do jednoho grafu č. 18, tak aby byl patrný jejich rozdíl v průběhu roku.

Graf č. 18: Průběh odvozených průměrných denních sum globálního záření v roce v Praze - Libuši a na Labské boudě za období 1979, 1981 - 1988; 1991 - 1994; 2005 - 2009



11 DISKUZE

V této kapitole jsem se zabývala především problematikou kvality, kompletnosti a věrohodnosti použitých dat, metod a možnostmi využití zjištěných výsledků.

Vzhledem k tomu, že hodnoty globálního slunečního záření mi poskytla Solární a ozonová observatoř v Hradci Králové, předpokládala jsem, že budou za celé sledované období kompletní a kvalitní. Tato observatoř jako Národního radiální centrum České republiky se již dlouhodobě zabývá problematikou slunečního záření a vzniklo zde velké množství odborných publikací. Observatoř také disponuje kvalitními přístroji. Sluneční záření, konkrétně globální záření je zde měřeno od roku 1953.

Kvalitu dat délky slunečního svitu zejména z ostatních stanic ale považuji za trochu problematickou. Kromě chyb vzniklých vlivem používání různých typů slunoměrných pásek, jejich subjektivního vyhodnocování, změny citlivosti přístroje vlivem stárnutí či znečištění atmosféry nebo špatné instalace a kalibrace přístroje představuje největší problém přechod z mechanických slunoměrů na elektronické. Tento nedostatek je možné zaznamenat na většině stanic v České republice. Vaníček, Pokorný (2007) se zabývali touto problematikou a stanovili chyby spojené tímto přechodem. Vzhledem k tomu, že zavedení elektronických slunoměrů se událo na stanicích ČHMÚ v poměrně nedávné době, proběhly zatím pouze částečná srovnání a testování. Odhady přesnosti budou i nadále probíhat na vybraných stanicích ČHMÚ.

Data o oblačnosti jsou získávána subjektivním odhadem pracovníků stanic, nejsou tedy měřena konkrétními přístroji a je nutné hodnotit jejich přesnost s rezervou.

Zcela kompletní hodnoty denních sum globálního záření, slunečního svitu a oblačnosti jsem měla k dispozici z Hradce Králové pouze za desetileté období. Otázkou je, zda desetiletá řada měření je dostatečně dlouhá k odvozování hodnot globálního záření. Některé odborné práce (např. Vaníček, 1994) také využívají takto krátkodobé řady měření. Pro podrobnější a přesnější hodnoty radiálních charakteristik by ale bylo vhodné použít dlouhodobější řadu měření. Například v kapitole o vymezení období, kdy v Krkonoších převládají dny s vyšším úhrnem délky slunečního svitu proti Praze, jsem se pokusila využít třicetiletou řadu denních úhrnů délky slunečního svitu ze stanic Labská bouda a Praha - Libuš. Ovšem tato data nebyla

kompletní. Zejména na Labské boudě chyběla data za celé roky a z neznámých důvodů v některých letech přes letní období. Vzhledem k tomu, že jsem se zaměřila na zimní období, bylo možné chybějící data za letní měsíce díky metodě součtových řad zanedbat.

V diplomové práci jsem se zabývala vztahem globálního slunečního záření, slunečního svitu a oblačnosti v závislosti na čase. Pokusila jsem se také nepřímou odvodit hodnoty globálního slunečního záření právě z hodnot o slunečním svitu a oblačnosti. K tomu jsem využila tři metody využívané v odborné literatuře. Blackův vztah vychází z hodnot o oblačnosti, Angström - Prescottův vztah využívá pouze hodnoty slunečního svitu a Angströmovův vztah kombinuje hodnoty slunečního svitu i oblačnosti. Je obtížné posoudit, který z těchto vztahů je nejvhodnější k tomuto odvozování. Řekla bych, že záleží zejména na vstupních datech, která jsou k dispozici a potom také na vybraných obdobích roku. Každá z těchto metod má své silné i slabé stránky právě v závislosti na těchto obdobích. V odborné literatuře existuje mnoho dalších vztahů, které odvozují globální sluneční záření například i z relativní vlhkosti, teploty vzduchu, půdy, počtu deštivých dní, srážek, vypařování a dalších. Vzhledem k tomu, že se žádný z těchto vztahů neukázal natolik přesný jako právě odvození globálního slunečního záření ze slunečního svitu a oblačnosti (Ertekin, Yaldiz, 2000), proto jsem je ve své práci nevyužila.

Ve vztazích pro odvození globálního záření je velice důležité stanovení regresních koeficientů, které závisí zejména na nadmořské výšce. Výpočet těchto koeficientů je v literatuře značně odlišný, každý autor přistupuje k jejich výpočtu odlišnými regresními metodami. Je otázkou, jak podrobné stanovení těchto koeficientů je nutné pro konkrétní území. Nesprávné stanovení těchto koeficientů může vést ke značnému zkreslení výsledných hodnot odvozeného globálního záření.

Výběr použitých metod neumožnil získat konkrétní hodnoty globálního slunečního záření pro daný den, či měsíc v roce, ale pouze jeho průměrné denní nebo měsíční sumy. To považuji z hlediska možného technického využití za trochu omezující.

Uvědomuji si, že jsem využila k odvození a zároveň k ověření vztahů globálního záření pouze jednu lokalitu v České republice (Hradec Králové). Pokusila jsem se také globální záření odvodit z dat o slunečním svitu v Praze - Libuši a na Labské boudě. Na těchto stanicích ale neexistují dlouhodobé řady měření globálního záření a proto odvozené hodnoty

nebylo možné porovnat s reálně naměřenými daty, tak jako v Hradci Králové. Pro radiační charakteristiku většiny území v České republice by bylo vhodné využít minimálně všech stanic, které zastupují jednotlivé klimatické oblasti v České republice a dlouhodoběji měří globální záření, jak je uvedeno v tab. č. 1: Rajonizace pole globálního záření na území ČR a ověřit tak odvozené hodnoty na dalších reálných datech.

12 ZÁVĚR

V diplomové práci jsem nejdříve obecně zhodnotila sluneční záření, sluneční svit a oblačnost, vysvětlila způsob jejich měření, charakteristiku v České republice, vztah k povětrnostním situacím a jejich vzájemné vztahy pomocí statistické metody korelace. Na základě dosažených výsledků bylo možné považovat stupeň vazby mezi denními i měsíčními sumami globálního záření, slunečního svitu a oblačnosti za těsný nebo velmi těsný.

Zaměřila jsem se zejména na problematiku globálního slunečního záření. Znalost globálního záření je velice důležitá z hlediska využití sluneční energie. Nejlepší způsob k získání hodnot globálního slunečního záření je přímé měření slunečního záření pyranometry. Tento způsob získávání dat je však extrémně finančně náročný a není ho možné použít na všech meteorologických stanicích. Alternativní řešení proto představuje odvození globálního záření z jiných meteorologických prvků, které jsou běžně získávány. Výsledný odvozený vztah může být potom použit pro místa nebo lokality s podobnou meteorologickou či geografickou charakteristikou, kde data o globálním slunečním záření nejsou měřena. Ve své diplomové práci jsem se pokusila o odvození globálního záření z údajů o slunečním svitu, oblačnosti a délce dne. K tomu jsem využila tři metody - původní Angströmov vztah, Angström - Prescottův vztah a Blackův vztah. Není možné jednoznačně určit, který z těchto vztahů je nejvhodnější. Každá z metod má své přednosti v závislosti na vybraném období roku a na dostupných vstupních datech.

Doufám, že se mi výsledky své práce podařilo naznačit, že by mohlo být zajímavé získávat údaje o globálním slunečním záření z běžně získávaných dat o slunečním svitu a oblačnosti i z jiných oblastí v České republice zejména ve vztahu ke stále se zvyšujícímu využívání sluneční energie.

V druhé části práce jsem se zabývala zimním obdobím, kdy je v nejvyšších polohách Krkonoš více slunečního svitu než v nížinách. Využila jsem k tomu metodu součtových řad a vymezila tak období zhruba od půlky listopadu do začátku února, kdy je možné v nejvyšších polohách Krkonoš zaznamenat výrazně vyšší úhrn doby trvání slunečního svitu a tedy lepší a slunné počasí proti Praze. Proto i moje doporučení směřuje k návštěvě hor v tomto období.

Seznam použitých zdrojů a literatury

- AKPABIO, L. (2003): Relationship between global solar radiation and sunshine duration for Onne, Nigeria. *Turkish Journal Physics* 27, str. 161 - 169
- ANGSTRÖM, A. (1924): Solar and terrestrial radiation. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 50, str. 121 - 125
- BLACK, J. N. (1956): The distribution of solar radiation over Earth's surface. *Archives of Meteorology Geophysics and Bioklimatology Series B* 7, str. 165 - 189
- BRÁDKA, J. a kol. (1972): Katalog povětrnostních situací pro území ČR. 2. vydání, Hydrometeorologický ústav, Praha, 37 str.
- BROŽ, M. (2007): Hvězdárna a planetárium v Hradci Králové [online], c2007, [cit. 2010-04-13], URL: < <http://www.astrohk.cz/>>
- BUREŠ, R., KLABZUBA, J., KOŽNAROVÁ, V. (1999): Model výpočtu denních sum globálního záření pro použití v růstových modelech. *Bioklimatologické pracovní dny Zvolen*, str. 121 - 122
- COUFAL, L., LANGOVÁ, P., MÍKOVÁ, T. (1992): Meteorologická data na území ČR za období 1961 - 1990. Český hydrometeorologický ústav, Praha, 160 str.
- ČENĚK, J., REICHT, J., VANÍČEK, K. (1985): Sluneční záření na území ČSSR. Ministerstvo lesního a vodního hospodářství ČSR, Praha, 54 str.
- ČHMÚ (2009): Stanice radiační sítě ČHMÚ [online], c2009, [cit. 2010-03-09], URL: <<http://www.chmi.cz/meteo/ozon/zareni.html>>
- ČHMÚ (2010): Informace o kvalitě ovzduší v ČR [online], c2010, poslední revize 10.04.2010, [cit. 2010-04-20], URL:<http://www.chmi.cz/uoco/isko/isko2/locality/pollution_locality/index_CZ.html>
- DVORNÝ, Z., VESECKÝ, A. (1965): Mezinárodní atlas oblaků. Zkrácené vydání pro pozorovatele meteorologických stanic, Hydrometeorologický ústav, Praha, 76 str.
- DVOŘÁK, P. (2001): Ilustrovaný atlas oblaků. Svět křídel, Cheb, 122 str.
- ERTEKIN, C., YALDIZ, O. (2000): Comparison of some existing models for estimating global solar radiation for Antalya (Turkey). *Energy Conversion and Management* 41, str. 311 - 330
- FIALA, T. (2006): Vymezení období sucha a období převládající teploty vzduchu pomocí metody součtových řad na příkladu Vráže u Písku. *Meteorologické zprávy*, sv. 59, č. 3, str. 76 - 79

- HOLDYS,T., KWIATKOWSKI, J. (1985): Klimat. In: Jahn, A. (red.): Karkonosze polskie, Polska Akademia Nauk, Wroclaw, 566 str.
- KAŠPAR, M., NOVÁK, P., ŘEZÁČOVÁ, D., SETVÁK, M. (2007): Fyzika oblaků a srážek. Academia, Praha, 574 str.
- Kipp & Zonen (2010): Solar instruments [online], poslední revize 08.01.2010, [cit. 2010-01-20], URL: <<http://www.kippzonen.com/?productgroup/111/Solar+Instruments.aspx>>
- KOBZOVÁ, E. (1998): Počasí. Rubico, Olomouc, 276 str.
- Kolektiv autorů (1968): Katalog povětrnostních situací pro území ČSSR. Hydrometeorologický ústav, Praha, 94 str.
- Kolektiv autorů (1993): Meteorologický slovník výkladový a terminologický. Academia, Ministerstvo životního prostředí, Praha, 594 str.
- Kolektiv autorů (2001): Digitální detektor přímého slunečního záření SD4, Návod k použití, Meteoservis v. o. s., Bosňany, 17 str.
- Kolektiv autorů (2007): Atlas podnebí Česka. ČHMÚ, Univerzita Palackého v Olomouci, Praha - Olomouc, 256 str.
- KŘIVANCOVÁ, S. (1997): Základní meteorologické prvky v jednotlivých povětrnostních situacích na území České republiky v období 1961 - 1990. ČHMÚ, Praha, 113 str.
- MATOUŠEK, J. (1987): Počasí, podnebí a člověk. Avicem, zdravotnické nakladatelství, n.p., Praha, 296 str.
- NETOPIL, R. a kol. (1984): Fyzická geografie I. 1. vydání, Státní pedagogické nakladatelství, Praha, 272 str.
- NOSEK, M. (1972): Metody v klimatologii. Academia, Praha, 433 str.
- PETROVIČ, Š. a kol. (1960): Klimatické pomery Hurbanova. Hydrometeorologický ústav, Praha, 278 str.
- PODZIMEK, J. (1959): Fysika oblaků a srážek. Československá akademie věd, Praha, 476str.
- POKORNÝ, J., VANÍČEK, K. (2007): Automatizace měření slunečního svitu na stanicích Českého hydrometeorologického ústavu. Meteorologické zprávy, sv. 60, č. 4, str. 106 - 116
- PRESCOTT. (1940): Evaporation from water surface in relation to solar radiation. Transactions of the Royal Society of Science of Australia 64, str. 114 - 118
- PROŠEK, P., REIN, F. (1982): Mikroklimatologie a mezní vrstva atmosféry. Státní pedagogické nakladatelství, Praha, 237 str.

- QUITT, E. (1971): Klimatické oblasti Československa. *Studia Geographica*, sv. 16, Geografický ústav ČSAV, Brno, 73 str.
- RACKO, S. (2008): Typizace povětrnostních situací pro území České republiky [online], poslední revize 29.8.2008, [cit. 2010-03-15], URL:<<http://www.chmi.cz/meteo/om/mk/syntypiz/kalendar.html>>
- SCHOVÁNKOVÁ, J. (2007): Režim slunečního svitu v Krkonoších. Bakalářská práce, katedra fyzické geografie a geoekologie PřF UK, Praha, 46 str.
- SLABÁ, N. (1972): Návod pro pozorovatele meteorologických stanic ČSSR. Sborník předpisů. HMÚ, Praha, 224 str.
- SLÁDEK, I. (1989): Určování nástupu a ukončení zvolených teplot vzduchu metodou součtových řad odchylek. *Meteorologické zprávy*, sv. 42, č. 2, str. 52 - 56
- STRUŽKA, V. (1956): Meteorologické přístroje a měření v přírodě. Státní pedagogické nakladatelství, Praha, 519 str.
- ŠIFTAŘ, Z. (1996): Zahájení činnosti P - ČHMÚ Hradec Králové v novém objektu. *Meteorologické zprávy*, sv. 49, č. 5, str. 158 - 159
- TRŽICKÝ, T. (2009): Optické úkazy v atmosféře [online], c1999 - 2010, poslední revize 6.11.2009, [cit. 2010-04-01], URL: < <http://ukazy.astro.cz/>>
- VANÍČEK, K. (1981): Výpočet měsíčních sum globálního záření na území ČSR. *Meteorologické zprávy*, sv. 34, č. 2, str. 49 - 52
- VANÍČEK, K. (1984): Radiační síť Českého hydrometeorologického ústavu. *Meteorologické zprávy*, sv. 37, č. 2, str. 85 - 88
- VANÍČEK, K. (1985): Použití nepřímých výpočetních metod k určení některých základních charakteristik pole slunečního záření. *Meteorologické zprávy*, sv. 38, č. 3, str. 72 - 75
- VANÍČEK, K. (1990): Trendy slunečního svitu na území ČSR v období 1956 - 1985. In: Sborník prací českého hydrometeorologického ústavu, sv. 37, 49 str.
- VANÍČEK, K. a kol. (1994): Popis pole globálního záření na území České republiky v období 1984 - 1993. Český hydrometeorologický ústav, Praha, 84 str.

Seznam mapových a datových podkladů

Data globálního slunečního záření, slunečního svitu a oblačnosti ze Solární a ozonové observatoře v Hradci Králové, ČHMÚ

Data slunečního svitu z Prahy - Libuše, ČHMÚ

Data slunečního svitu z Labské boudy, ČHMÚ

Mapové služby portálu mapy.cz <<http://www.mapy.cz/>>

Seznam příloh

Příloha č. 1: Seznam použitých zkratk

Příloha č. 2: Optické jevy

Příloha č. 3: Základní druhy oblaků

Příloha č. 4: Druhy, tvary, odrůdy, zvláštnosti a průvodní oblaky

Příloha č. 5: Observatoř Praha - Libuš

Příloha č. 6: Stanice Labská bouda

Příloha č. 7: Observatoř Hradec Králové

Příloha č. 8: Sluneční svit v ČR

Příloha č. 9: Globální záření v ČR

Příloha č. 10: Oblačnost v ČR

Příloha č. 11: Globální záření v Hradci Králové

Příloha č. 12: Délka slunečního svitu v Hradci Králové

Příloha č. 1: Seznam použitých zkratk

α	konstanta
a, b, c, d	regresní koeficienty
CSS	Campbell - Stokesův slunoměr
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
D	pořadí dne v roce
DIR	Referenční doba trvání slunečního svitu
DSU12	sluneční detektor
G	globálního záření v MJ.m ⁻²
G _{měř}	globální záření naměřené v MJ.m ⁻²
G _o	energie slunečního záření dopadající nad daným místem na jednotku horizontální plochy vnější hranice zemské atmosféry v MJ.m ⁻² ; globální záření v MJ.m ⁻² za jasných dní
G _{odhad}	globální záření odvozené v MJ/m ²
G _R	globální záření ve dnech s relativním slunečním svitem o R% v MJ.m ⁻²
HK	Hradec Králové
m	počet dní v měsíci
MSE	mean square error (střední kvadratická odchylka)
n	počet dní zatažených
N	počet měření
O	oblačnost v desetínách / procentech
R	relativní sluneční svit v %
r _{xy}	korelační koeficient mezi prvkem x a y
RMSE	root mean square error
s	sluneční svit v hodinách
SD4;5;6	sluneční detektor 4;5;6
s _o	astronomicky možný sluneční svit v daném místě
SOO-HK	Solární a ozonová observatoř v Hradci Králové
SSV	doba trvání slunečního svitu
s _x ; s _y	směrodatná odchylka prvku x; y
WMO	Světová meteorologická organizace
WRR	World Radiation Reference

$x_i; y_i$	i-tá hodnota prvku x; y
$\bar{x}; \bar{y}$	průměrná hodnota prvku x; y

Typizace povětrnostních situací pro území ČR

A	anticyklóna nad střední Evropou
Ap	putující anticyklóna
B	brázda nízkého tlaku nad střední Evropou
Bp	brázda postupující přes střední Evropu
C	cyklóna nad střední Evropou
Cv	cyklóna výšková
Ea	východní anticyklonální situace
Ec	východní cyklonální situace
Nc	severní cyklonální situace
NEa	severovýchodní anticyklonální situace
NEc	severovýchodní cyklonální situace
NWa	severozápadní anticyklonální situace
NWc	severozápadní cyklonální situace
Sa	jižní anticyklonální situace
SEa	jihovýchodní anticyklonální situace
SEc	jihovýchodní cyklonální situace
SWa	jihozápadní anticyklonální situace
SWc1	jihozápadní cyklonální situace
SWc2	jihozápadní cyklonální situace
SWc3	jihozápadní cyklonální situace
Vfz	vchod frontální zóny
Wa	západní anticyklonální situace
Wal	západní anticyklonální situace letního typu
Wc	západní cyklonální situace
Wcs	západní cyklonální situace s jižní dráhou

Druhy oblaků

Ac	Alto cumulus - vysoká kupa
As	Alto stratus - vysoká sloha
Cb	Cumulonimbus - dešťová (bouřková) kupa
Cc	Cirrocumulus - řasová kupa
Ci	Cirrus - řasa
Cs	Cirrostratus - řasová sloha
Cu	Cumulus - kupa
Ns	Nimbostratus - dešťová sloha
Sc	Stratocumulus - slohová kupa
St	Stratus - sloha

Příloha č. 2: Optické jevy

Irizování oblaků



Velké halo



Duha



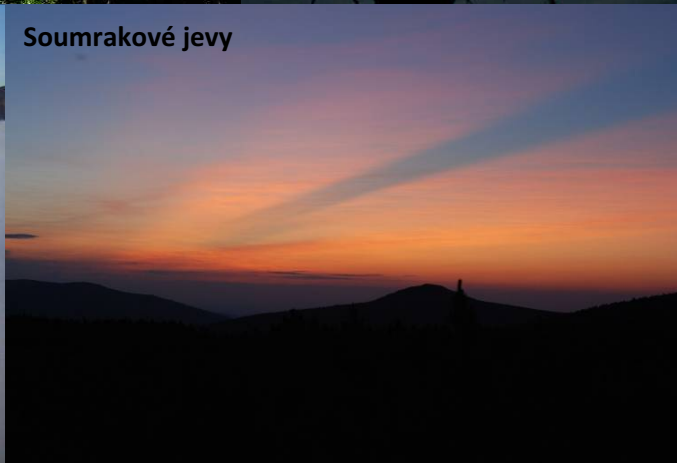
Koróna



Gloriola



Soumrakové jevy



Zdroj: Tržický (2009)

Příloha č. 3: Základní druhy oblaků



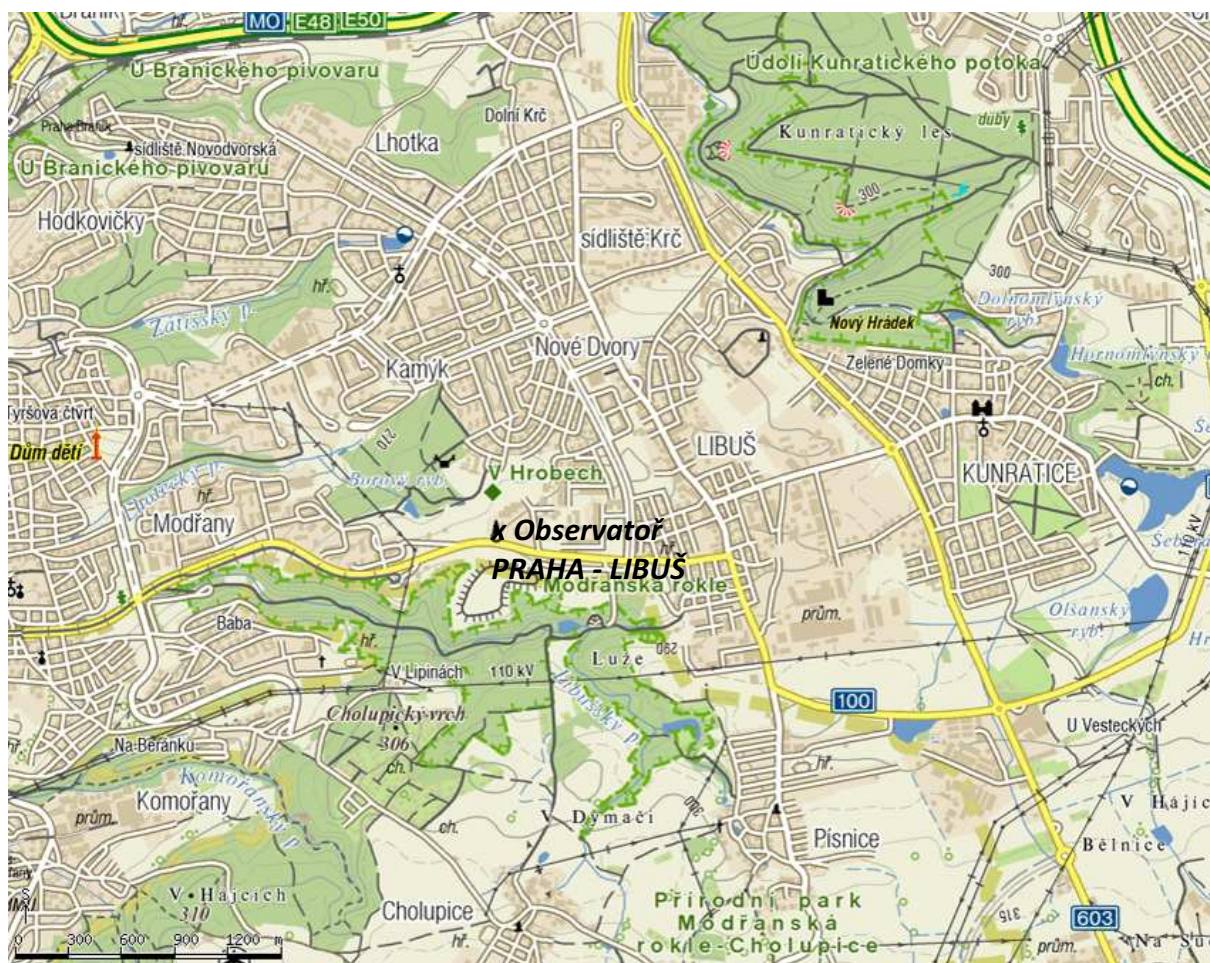
Zdroj: Dvořák (2001)

Příloha č. 4: Druhy, tvary, odrůdy, zvláštnosti a průvodní oblaky

Druhy oblaků			Tvary oblaků			Odrůdy oblaků			Zvláštnosti a průvodní oblaky		
Cirrus	Ci	Řasa	fibratus	fib	vláknový	intortus	in	zakřivený	arcus	arc	oblouk
Cirrocumulus	Cc	Řasová kupa	uncinus	unc	háčkovitý	vertebratus	ve	obratlový	incus	inc	kovadlina
Alto cumulus	Ac	Řasová sloha	spissatus	spi	závojitý	undulatus	un	vlnovitý	mamma	mam	vemeno
Altostratus	As	Vysoká kupa	castellanus	cas	cimbuřovitý	radiatus	ra	paprsečtý	virga	vir	pruhy
Nimbostratus	Ns	Dešťová sloha	floccus	flo	vločkovitý	lacunosus	la	síťovitý	praecipitatio	pra	srážkový
Stratocumulus	Sc	Slohová kupa	stratiformis	str	Široce rozprostřený	duplicatus	du	zdvojený	tuba	tub	chobot
Stratus	St	Sloha	nebulosus	neb	mžný	translucidus	tr	průsvitný	pannus	pan	Spodní cáry
Cumulus	Cu	Kupa	lenticularis	len	čočkovitý	perlucidus	pe	otvorovitý	pileus	pil	čepička
Cumulonimbus	Cb	Bouřková kupa	fractus	fra	roztrhaný	opacus	op	hustý, tmavý	velum	vel	závoj
			humilis	hum	nízký						
			mediocris	med	střední						
			congestus	con	mohutný						
			calvus	cal	holý						
			capillatus	cap	vlasatý						

Zdroj: Dvorný, Vesecký (1965)

Příloha č. 5: Observatoř Praha - Libuš

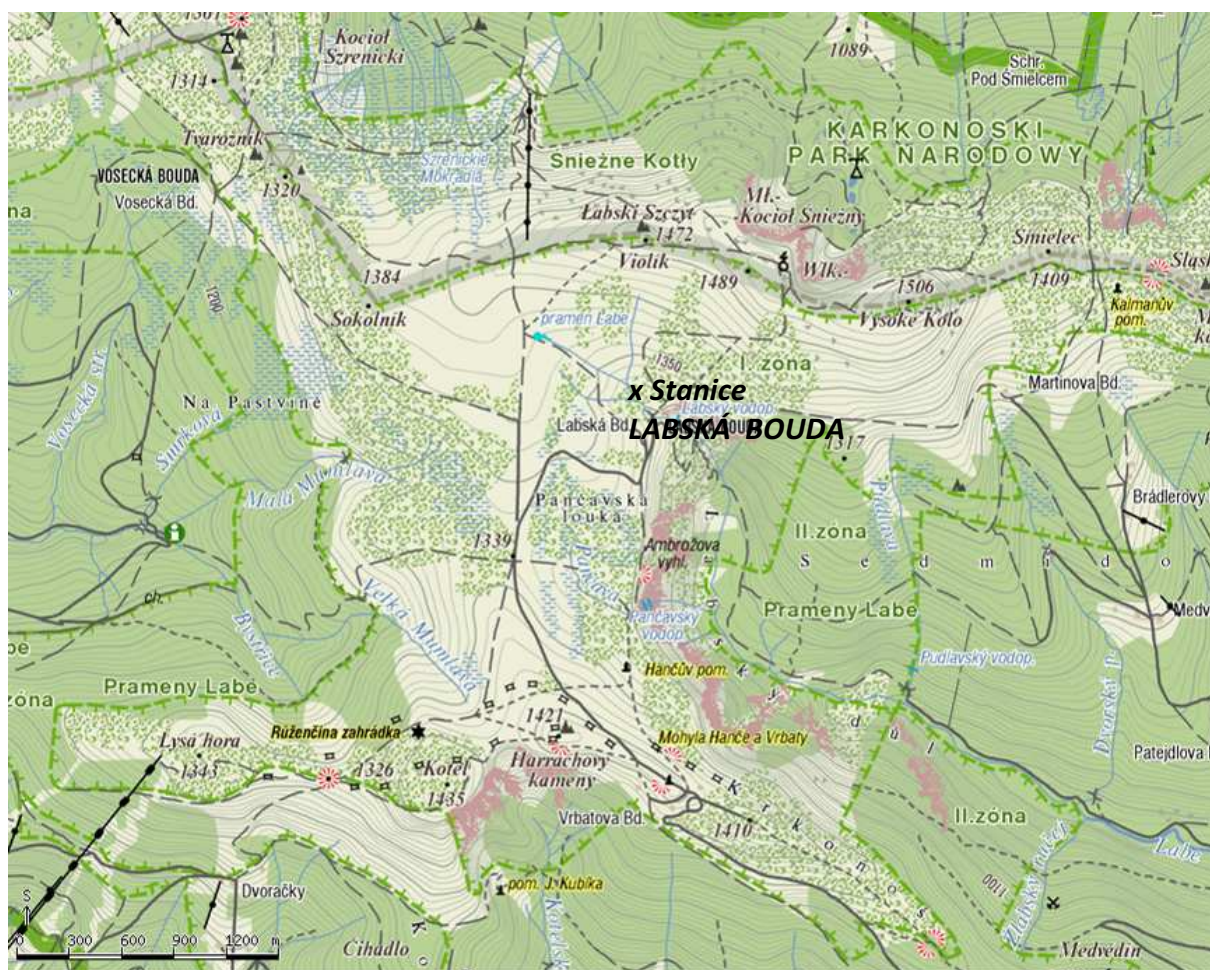


Zdroj: www.mapy.cz



Foto: Schovánková (2007)

Příloha č. 6: Stanice Labská bouda



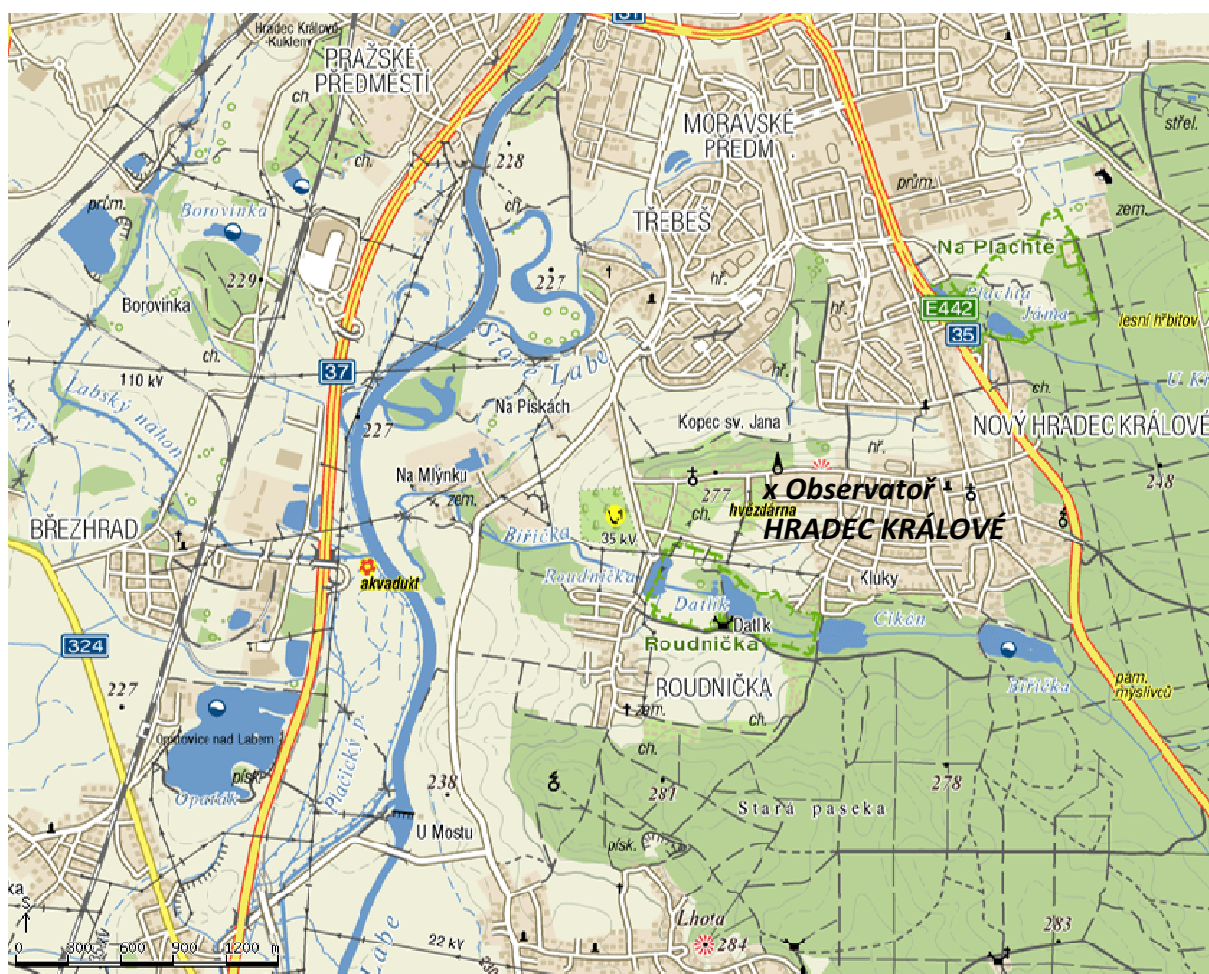
Zdroj: www.mapy.cz



Foto: Schováňková (2007)



Příloha č. 7: Observatoř Hradec Králové



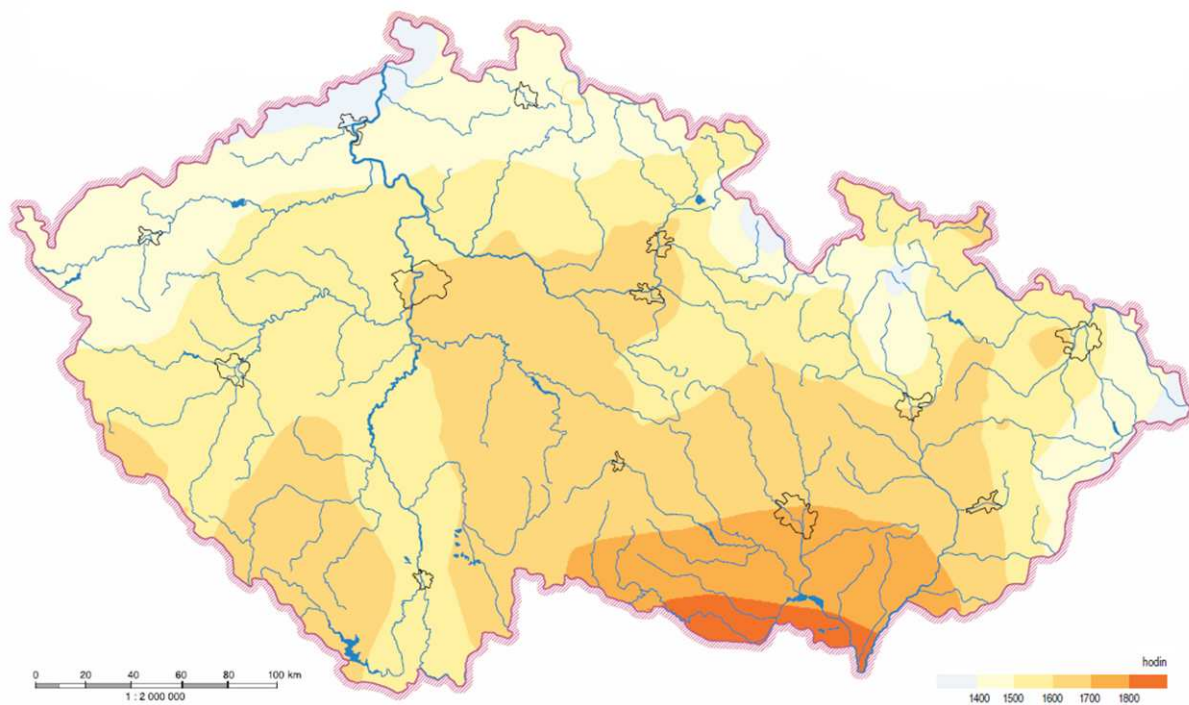
Zdroj: www.mapy.cz



Foto: Schovánková (2010)

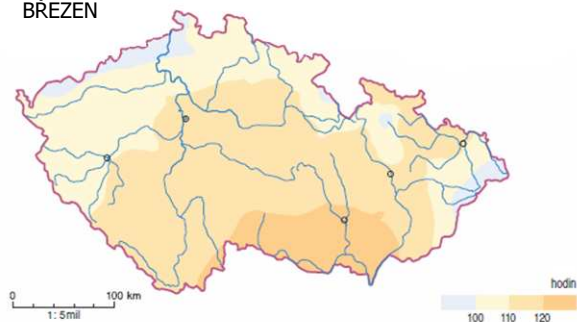
Příloha č. 8: Sluneční svit v ČR

Průměrné roční úhrny doby trvání slunečního svitu v ČR

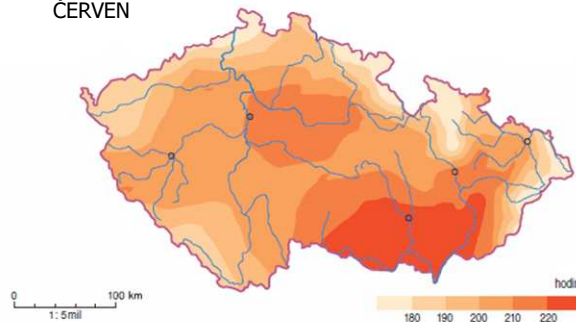


Průměrné měsíční úhrny doby trvání slunečního svitu v ČR

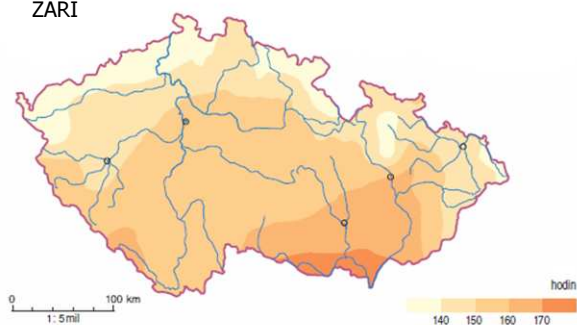
BŘEZEN



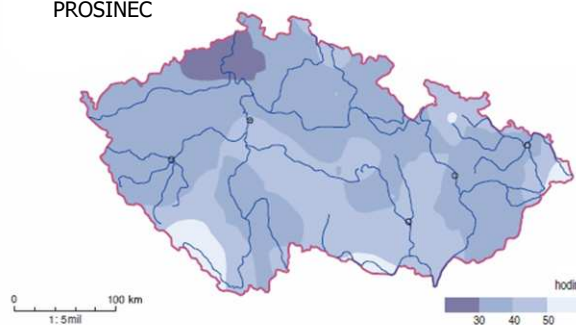
ČERVEN



ZÁŘÍ



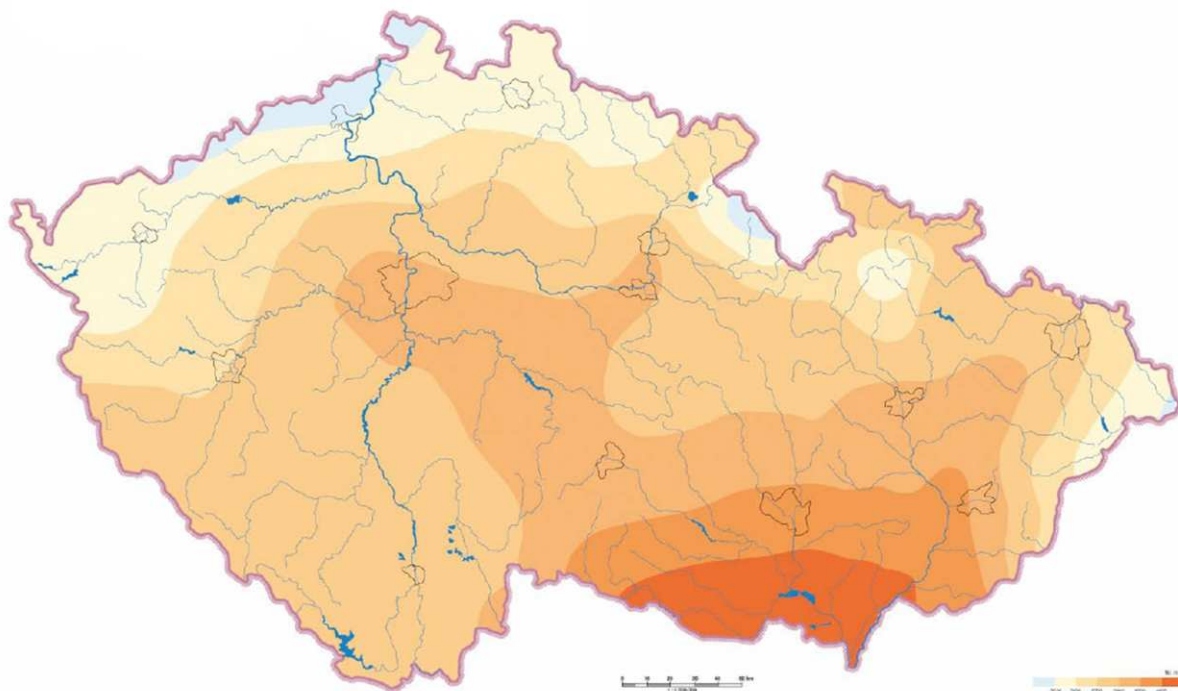
PROSINEC



Zdroj: Atlas podnebí Česka (2007)

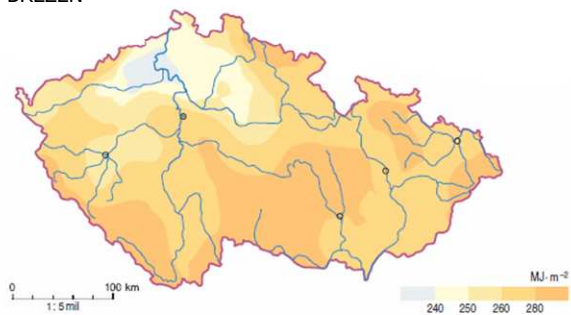
Příloha č. 9: Globální záření v ČR

Průměrné roční úhrny globálního záření v ČR

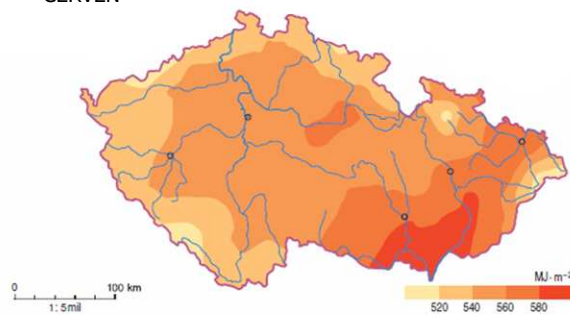


Průměrné měsíční úhrny globálního záření v ČR

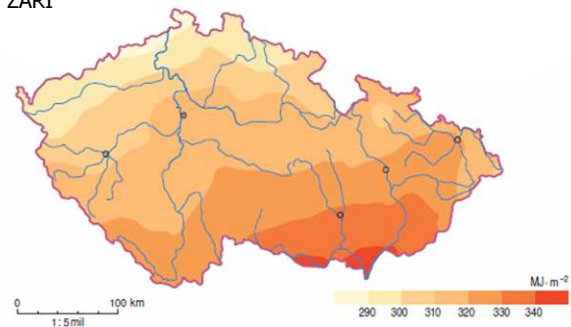
BŘEZEN



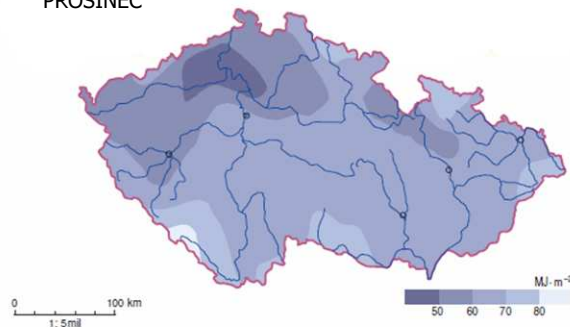
ČERVEN



ZÁŘÍ



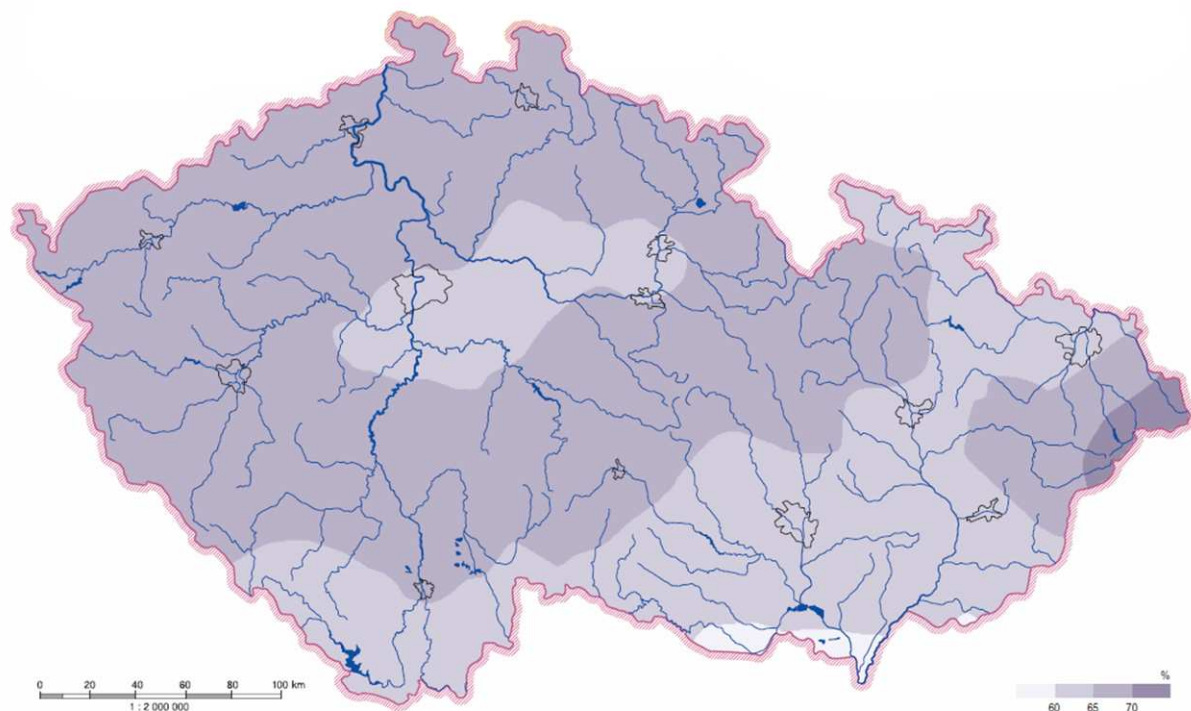
PROSINEC



Zdroj: Atlas podnebí Česka (2007)

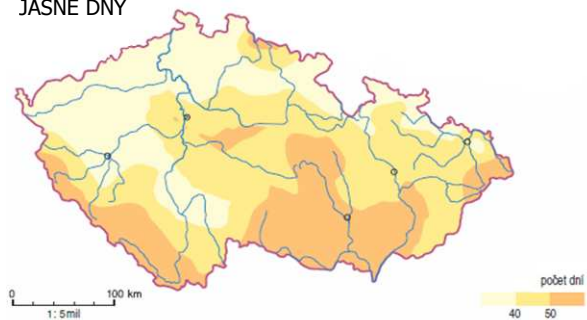
Příloha č. 10: Oblačnost v ČR

Průměrná roční oblačnost v ČR

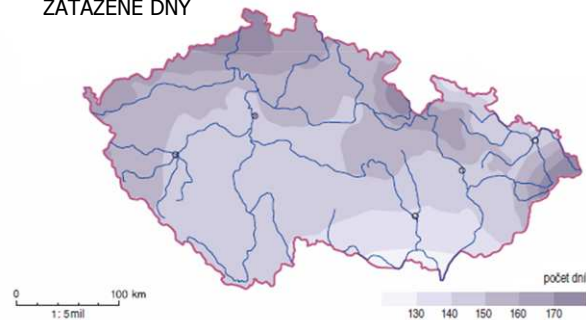


Průměrný počet jasných a zatažených dní v ČR

JASNÉ DNY



ZATAŽENÉ DNY



Zdroj: Atlas podnebí Česka (2007)

Příloha č. 11: Globální záření v Hradci Králové

Rozložení průměrných denních sum globálního záření v HK za období 1999 - 2008

G [MJ.m ⁻²]	délka dne [h]									Celkový průměr
	8,0 - 9	9,1 - 10	10,1 - 11	11,1 - 12	12,1 - 13	13,1 - 14	14,1 - 15	15,1 - 16	16,1 - 17	
0	5,00	8,90	11,74	16,33	18,45	22,06	25,02	28,21	29,75	15,48
0,1 - 1	5,13	8,97	11,50	14,96	17,90	21,25	24,22	27,53	29,29	20,22
1,1 - 2	4,65	8,00	11,28	13,89	17,36	19,89	23,28	26,31	28,11	19,92
2,1 - 3	4,84	7,29	10,35	13,17	16,67	19,77	21,27	24,34	26,20	17,58
3,1 - 4	4,53	6,55	9,78	12,66	14,99	17,56	20,92	23,93	25,33	16,34
4,1 - 5	4,44	6,65	8,03	11,31	13,83	17,07	20,35	22,23	23,15	15,71
5,1 - 6	3,83	5,72	8,20	9,91	12,65	15,71	18,00	20,36	21,67	13,63
6,1 - 7	3,19	4,38	6,68	8,23	10,60	13,50	14,76	17,16	17,42	10,35
7,1 - 8	2,54	4,06	5,62	8,07	9,55	11,78	14,10	15,83	17,84	9,31
8,1 - 9	2,13	3,30	5,28	5,95	8,67	10,96	11,14	13,15	13,65	7,05
9,1 - 9,9	1,83	3,00	3,94	5,58	6,79	8,24	9,68	11,15	12,31	5,63
10	1,24	2,21	3,16	4,47	3,90	5,36	5,46	6,97	8,67	2,84
Celkový průměr	2,47	4,44	6,73	8,71	12,16	14,79	17,83	19,30	20,74	11,14

Rozložení četností denních sum globálního záření v HK za období 1999 - 2008

Četnost	délka dne [h]									Celkový součet
	8,0 - 9	9,1 - 10	10,1 - 11	11,1 - 12	12,1 - 13	13,1 - 14	14,1 - 15	15,1 - 16	16,1 - 17	
0	17	9	9	1	22	6	5	7	2	78
0,1 - 1	15	9	21	13	34	25	31	41	23	212
1,1 - 2	11	9	23	25	27	34	47	52	25	253
2,1 - 3	18	13	16	18	19	22	29	34	22	191
3,1 - 4	37	21	13	17	22	33	37	39	35	254
4,1 - 5	26	30	19	25	23	31	41	48	43	286
5,1 - 6	43	32	25	23	24	28	36	45	50	306
6,1 - 7	83	36	36	42	22	41	50	60	38	408
7,1 - 8	75	40	33	34	30	43	26	57	32	370
8,1 - 9	120	35	26	36	30	29	38	49	29	392
9,1 - 9,9	94	45	40	43	34	24	15	39	25	359
10	241	81	62	43	33	24	15	29	16	544
Celkový součet	780	360	323	320	320	340	370	500	340	3653

Příloha č. 12: Délka slunečního svitu v Hradci Králové

Rozložení průměrných denních sum délky slunečního svitu v HK za období 1999 - 2008

SSV [h]	délka dne [h]									Celkový průměr	
	8,0 - 9	9,1 - 10	10,1 - 11	11,1 - 12	12,1 - 13	13,1 - 14	14,1 - 15	15,1 - 16	16,1 - 17		
oblačnost [desetiny]	0	7,42	8,77	9,74	11,40	11,59	12,80	13,54	14,30	14,70	10,68
	0,1 - 1	7,28	8,67	9,31	10,32	11,24	11,56	12,64	14,04	14,79	11,77
	1,1 - 2	6,37	8,21	9,09	9,56	10,49	11,38	12,32	13,22	13,86	11,36
	2,1 - 3	5,94	6,63	8,11	8,39	9,28	10,87	11,08	11,97	12,45	9,90
	3,1 - 4	5,19	5,76	6,68	7,69	8,41	8,93	10,27	11,17	11,62	8,79
	4,1 - 5	4,98	5,02	5,53	5,91	6,80	8,24	9,21	9,92	10,13	7,81
	5,1 - 6	3,47	4,14	4,86	4,92	5,64	6,82	7,64	8,23	8,53	6,26
	6,1 - 7	2,23	2,09	3,13	3,32	4,18	4,91	5,09	5,97	6,14	4,05
	7,1 - 8	1,22	1,68	2,48	3,27	2,92	3,74	4,77	4,81	5,44	3,17
	8,1 - 9	0,79	1,03	1,45	1,48	2,58	2,92	2,77	3,30	3,42	1,91
	9,1 - 9,9	0,36	0,69	0,75	0,96	1,03	1,43	1,64	1,80	2,44	1,00
	10	0,04	0,18	0,25	0,32	0,07	0,48	0,43	0,54	0,67	0,18
Celkový průměr	1,67	2,62	3,76	4,02	5,84	6,54	7,86	7,86	8,34	5,07	

Rozložení četností denních sum délky slunečního svitu v HK za období 1999 - 2008

četnost	délka dne [h]									Celkový součet	
	8,0 - 9	9,1 - 10	10,1 - 11	11,1 - 12	12,1 - 13	13,1 - 14	14,1 - 15	15,1 - 16	16,1 - 17		
oblačnost [desetiny]	0	17	9	9	1	22	6	5	7	2	78
	0,1 - 1	15	9	21	13	34	25	31	41	23	212
	1,1 - 2	11	9	23	25	27	34	47	52	25	253
	2,1 - 3	18	13	16	18	19	22	29	34	22	191
	3,1 - 4	37	21	13	17	22	33	37	39	35	254
	4,1 - 5	26	30	19	25	23	31	41	48	43	286
	5,1 - 6	43	32	25	23	24	28	36	45	50	306
	6,1 - 7	83	36	36	42	22	41	50	60	38	408
	7,1 - 8	75	40	33	34	30	43	26	57	32	370
	8,1 - 9	120	35	26	36	30	29	38	49	29	392
	9,1 - 9,9	94	45	40	43	34	24	15	39	25	359
10	241	81	62	43	33	24	15	29	16	544	
Celkový součet	780	360	323	320	320	340	370	500	340	3653	